

Filière Systèmes industriels

Orientation Power and Control

Diplôme 2007

Timothée Mayoraz

*Réalisation d'un logiciel de
simulation d'installations de
production d'eau chaude sanitaire
à l'aide de panneaux solaires*

Professeur

Gilbert Morand

Expert

Patrice Cordonier

SI	TV	EE	IG	EST
X	X	X	X	

Filière / Studiengang : Systèmes industriels

Confidentiel / Vertraulich ☐

Etudiant / Student Timothée Mayoraz	Année scolaire / Schuljahr 2006/07	No TD / Nr. DA SI/2007/24
Proposé par / vorgeschlagen von HES-SO Valais, UPC		Lieu d'exécution / Ausführungsort HES-SO Valais, DSI Expert / Experte

Titre / Titel:

**Réalisation d'un logiciel de simulation d'installations
de production d'eau chaude sanitaire à l'aide de panneaux solaires**

Description / Beschreibung:

Avec bSol, on dispose d'un outil qui permet de prédire les besoins énergétiques pour maintenir la température intérieure d'un bâtiment à la température de consigne. Le logiciel bSol suit le parcours du soleil et comptabilise les apports solaires qui pénètrent dans le bâtiment en tenant compte des particularités tant au niveau des éléments de construction que de son implémentation ou de son orientation au soleil ou encore de son exploitation.

Les dépenses énergétiques pour maintenir la température, suffisamment chaude en hiver, et suffisamment fraîche en été, peuvent être réduits en suivant les pistes d'amélioration proposées par bSol et ceci bien avant la construction du bâtiment.

La part d'énergie liée à l'utilisation de l'eau chaude sanitaire prend alors une part de plus en plus importante dans le bilan global énergétique et ceci d'autant plus que le bâtiment devient performant. Les besoins en eau chaude sanitaire ainsi que la manière de la produire n'est pas traité dans le logiciel bSol. Le travail de diplôme proposé ici vise à combler ce manque.

Le but du présent travail consiste à développer et programmer un logiciel qui soit capable de modéliser et de prédire les besoins énergétiques ainsi que leur provenance (soleil, électricité,...) pour couvrir les besoins en eau chaude sanitaire d'un bâtiment (habitat individuel, habitat collectif, piscine,...).

Seront pris en compte dans ce logiciel : le dimensionnement de l'installation de production d'eau chaude sanitaire, les données météorologiques du lieu d'habitation, l'horizon, les paramètres d'exploitation de l'installation.

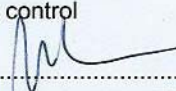
Le logiciel devra non seulement être capable de donner un bilan énergétique mais également de proposer des pistes d'amélioration pour une installation de production d'eau chaude sanitaire à l'aide de panneaux solaires.

Objectifs / Ziele:


— Réalisation d'un logiciel de simulation.

Signature ou visa / Unterschrift oder Visum

Resp. de l'orientation power and control

..... 

Professeur/Dozent: Gilbert Morand

..... 

Etudiant/Student:

..... 

Délais / Termine

Attribution du thème / Ausgabe des Auftrags:
03.09.2007

Remise du rapport / Abgabe des Schlussberichts:
23.11.2007

Exposition publique / Ausstellung Diplomarbeiten:
30.11.2007

Défenses orales / Mündliche Verfechtungen
Semaine 49

Réalisation d'un logiciel de simulation d'installations de production d'eau chaude sanitaire à l'aide de panneaux solaires

Realisierung einer Softwaresimulation für die Inbetriebsetzung von Warmwasserproduktion mittels Sonnenkollektoren

Objectif

Développement d'un logiciel de simulation de la fourniture en eau chaude sanitaire à l'aide de systèmes de panneaux solaires.

La réalisation doit intégrer la prédiction et la provenance des besoins énergétiques, une boussole pour l'optimisation du système, la prise en compte des données météorologiques du lieu d'habitation et de l'horizon.

Résultats

Un logiciel capable de modéliser et prédire les besoins énergétiques et leur provenance pour couvrir les besoins en eau chaude sanitaire. Le logiciel permet de suivre l'évolution des températures, gains et pertes caractéristiques du système sous une forme graphique et de donner un bilan énergétique complet. Il est aussi capable de proposer des pistes d'amélioration.

Mots-clés

Capteurs solaires, eau chaude sanitaire, couverture solaire, logiciel, optimisation, énergie, graphiques, bilan, dimensionnement, modélisation, boussole

Ziel

Entwicklung einer Softwaresimulation über die Gewinnung von Warmwasser mittels Sonnenkollektoren.

Die Realisierung soll die Vorraussage und die Herkunft der Energiebedürfnisse, einen Kompass für die Optimierung des Systems, die Berücksichtigung von meteorologischen Daten vom Wohnort und der umliegenden Gegend beinhalten.

Resultate

Eine Software, welche die energetischen Bedürfnisse, sowie die Herkunft modelliert und voraussagt, um die Bedürfnisse von Warmwasser zu gewährleisten. Die Software kann die Temperatur, den charakteristischen Gewinn und Verlust des Systems graphisch darstellen und eine komplette Energiebilanz wiedergeben. Sie kann auch verbesserungen vorschlagen.

Schlüsselwörter

Solarkollektoren, Warmwasser, Solarer Deckungsgrad, Software, Optimierung, Energie, Ertrag, Grafische Darstellungen, Bilanz, Dimensionierung, Modellierung

Rapport
Travail de diplôme



**Réalisation d'un logiciel de simulation
d'installations de production d'eau chaude
sanitaire à l'aide de panneaux solaires**

Etudiant
Timothée Mayoraz

Enseignant
Gilbert-André Morand

Novembre 2007

Table des matières

1. Introduction	p. 1
1.1 But	p. 1
1.2 Contexte actuel	p. 1
1.3 Installations standard et normes d'hygiène	p. 2
2. Travail effectué lors du projet de semestre	p. 3
3. Logiciels utilisés	p. 4
3.1 Polysun	p. 4
3.2 Meteonorm	p. 5
3.3 bSol et Hortisol	p. 6
4. Programmation du module	p. 7
4.1 Flux du logiciel ECS	p. 7
4.2 Entrées / sorties	p. 7
4.2.1 Définitions des entrées	p. 8
4.2.2 Définitions des sorties	p. 9
4.3 Implémentation de nouvelles fonctions	p. 9
4.3.1 Implémentation de G_K	p. 9
4.3.2 Implémentation de l'azimut et de la hauteur	p.10
4.3.3 Implémentation de l'horizon et de la météo	p.11
4.3.4 Implémentation des profils d'utilisation	p.11
4.3.6 Nouvel algorithme pour l'utilisation de l'appoint	p.12
5. Couverture du système	p.14
5.1 Couverture des besoins en température	p.14
5.2 Couverture des besoins du système	p.15
5.3 Couverture du prélèvement d'eau chaude sanitaire	p.15
5.4 Couverture SF_i	p.16
6. Algorithme d'optimisation appelé la boussole	p.16
6.1 Rôle de l'optimisation et bSol	p.15
6.2 Optimisation de SF_i	p.17
6.2.1 En fonction de l'azimut et de la hauteur du capteur	p.17
6.2.2 En fonction de la surface du capteur	p.17
6.2.3 En fonction du volume du ballon	p.18
6.2.4 En fonction du volume du ballon et de la surface des capteurs	p.19
7. Tests de validation	p.20
7.1 Comparaison de l'ensoleillement G_K avec Meteonorm et Polysun	p.20
7.2 Comparaison des résultats avec Polysun	p.21
8. Résultats et discussions	p.23
9. Bibliographie	p.24
10. Annexe	p.24

1. - Introduction

1.1 – But

Le but de ce travail de diplôme est la réalisation d'un logiciel de simulation d'installations de production d'eau chaude sanitaire à l'aide de panneaux solaires. Ce logiciel doit permettre une prise en main facile pour l'utilisateur et être capable de donner un bilan énergétique complet du système étudié. Il doit aussi pouvoir proposer des pistes d'amélioration pour une optimisation de l'installation solaire.

1.2 – Contexte actuel

La société actuelle voit continuellement croître ses besoins en énergie, bien que les prix soient toujours à la hausse. En 2006, les ménages ont employé un tiers de la consommation finale en Suisse. L'énergie utilisée pour produire de l'eau chaude sanitaire représente une part importante de la consommation annuelle pour une famille, qui est de l'ordre de 20 à 40%. Or, l'utilisation des énergies fossiles ou électriques devenant de plus en plus chère, il est important de se tourner vers d'autres solutions.

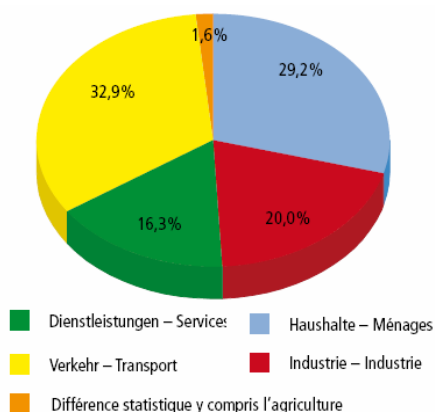


Figure 1.2.1 Répartition de la consommation finale d'énergie en Suisse selon les groupes de consommateurs en 2006

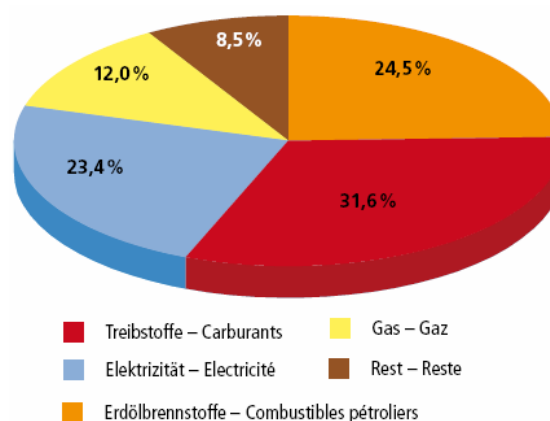


Figure 1.2.2 Répartition de la consommation finale en Suisse selon les agents énergétiques en 2006

Le solaire étant inépuisable et n'émettant aucun gaz à effet de serre, son utilisation comme source d'énergie pour chauffer l'eau sanitaire s'avère être une solution écologique et efficace. En effet, une installation bien dimensionnée est capable de couvrir jusqu'à 80% des besoins de chauffage et 60% des besoins thermiques d'eau chaude sanitaire. Pour une maison familiale, 6 mètres carrés de panneaux solaires représentent ainsi une économie d'environ 3000 kWh par année.

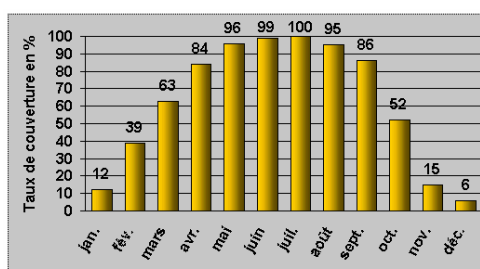


Figure 1.2.3 Taux de couverture en eau chaude sanitaire avec une installation bien dimensionnée

Afin de pouvoir modéliser et prédire plus facilement les besoins énergétiques ainsi que leur provenance (soleil, électricité, etc.), le développement de notre logiciel s'avère une nécessité pour les futurs consommateurs.

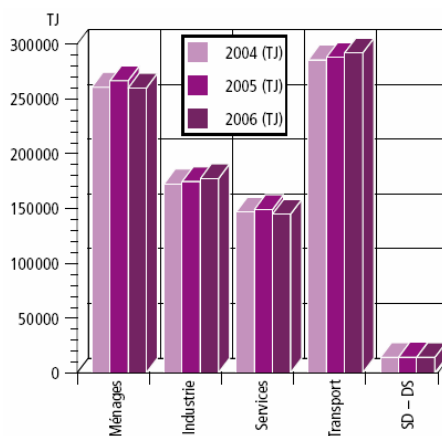


Figure 1.2.4 Consommation finale en TJ en Suisse; total pour 2006 : 888'330 TJ

1.3 – Installations standard et normes d'hygiène

On considère généralement qu'un mètre carré de capteur par personne suffit pour un volume de ballon de 100 litres ; en parallèle, une puissance d'appoint alimentée électriquement ou à mazout de 2 à 10[kW] est nécessaire pour assurer tous les besoins de la journée, même en cas de non- ensoleillement.

Pour une maison familiale, une installation solaire pour la production d'eau chaude sanitaire est constituée de 5 à 6 mètres carrés de panneaux, ce qui représente un volume du ballon de 600 litres. En parallèle, un ballon de 100 à 300 litres est alimenté aux heures creuses par le chauffage d'appoint qui n'est enclenché que la nuit ; on parle alors de volume d'appoint qui garantit une température de l'eau constante. La consommation d'eau chaude par personne est estimée entre 50 et 60 litres par jour avec une température de 45°C.

A titre d'information, concernant les normes d'hygiène et selon un arrêté du 30 novembre 2005 du gouvernement français, il est dit qu'afin de limiter les risques liés au développement des bactéries, l'eau contenue dans les équipements de stockage doit être en permanence à une température supérieure ou égale à 55°C à la sortie des équipements ou être portée à une température suffisante au moins une fois par 24 heures. Le temps de maintien minimum de la température à respecter est de 2 minutes pour une température supérieure à 70°C, 4 minutes pour 65°C et 60 minutes pour 60°C. A ces températures, les bactéries meurent.

De plus, selon la conférence des services cantonaux de l'énergie en Suisse dans son édition de mai 2003 et concernant le chauffage et la production d'eau chaude sanitaire, les chauffe-eau doivent être réglés sur une température d'exploitation n'excédant pas 60°C. Font exception les chauffe-eau devant être réglés sur une température plus élevée pour des raisons d'exploitation ou d'hygiène.

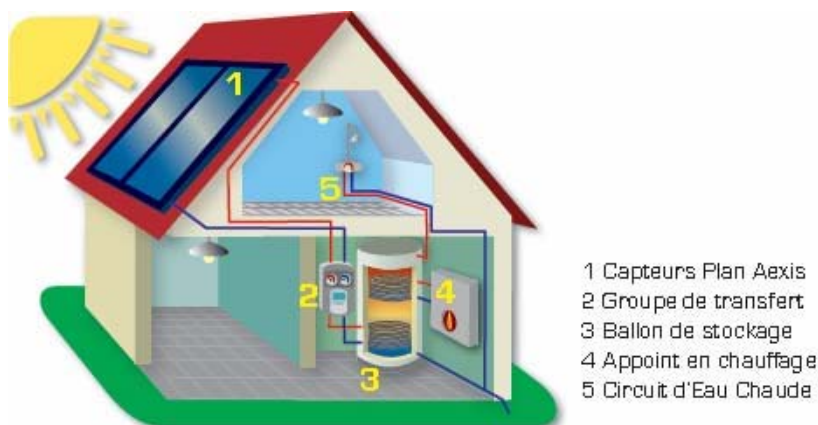


Figure 1.3.1 Exemple d'une installation solaire Axis-Energie

2. – Travail effectué lors du projet de semestre

Le projet de semestre a permis de valider un modèle de production d'eau chaude sanitaire à l'aide de panneaux solaires développé lors du travail de diplôme de M. Lukas Petrig réalisé en 2006. Une première interface graphique avait été implémentée au code existant rendant l'utilisation du programme plus facile et conviviale.

La validation de ce modèle s'est effectuée en comparant les résultats de la simulation obtenus avec ceux du logiciel Polysun développé à Rapperswil. Les tests obtenus s'étaient révélés concluants.

Cependant, certains points restaient à développer, à savoir

- prise en compte d'un échangeur non idéal
- implémentation d'une boussole pour l'optimisation du système
- optimisation du programme
- implémentation de l'horizon, de la météo et des profils d'utilisation

La nouvelle version du programme devra donc s'efforcer de prendre en compte ces paramètres et présenter une meilleure interface graphique pour l'utilisateur final.

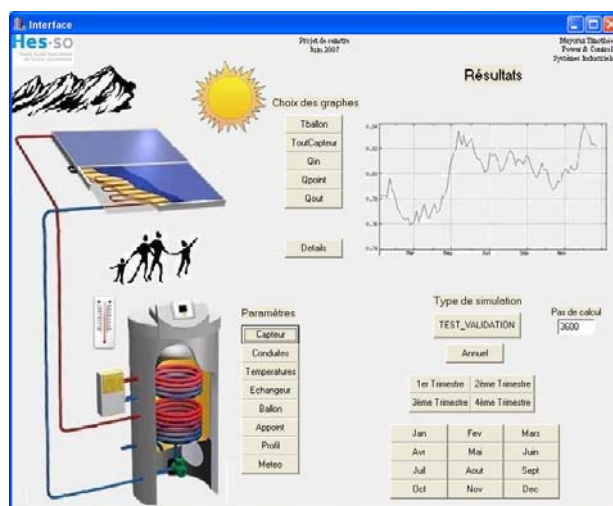


Figure 2.1.1 Ancienne version du programme ECS

3. – Logiciels utilisés

Au cours de ce travail, différents programmes ont été nécessaires pour le développement du logiciel ECS, à savoir :

- Polysun : comparaison des résultats obtenus
- Meteonorm : génération de fichiers météo
- bSol : aide dans l'algorithme d'optimisation
- Hortisol : conversion des fichiers météo générés par Meteonorm

3.1 – Polysun

L'Institut für Solartechnik SPF à Rapperswil travaille dans le domaine technique du solaire thermique. Il a développé un programme de simulation se nommant *Polysun* pour le dimensionnement d'installations thermiques solaires. Deux versions ont été utilisées lors du travail de diplôme.

La version 3.3 de Polysun a servi de base pour la comparaison des résultats ainsi que pour récupérer des profils types de consommation. Il est à noter que l'interface graphique se rapproche beaucoup du logiciel ECS actuel.

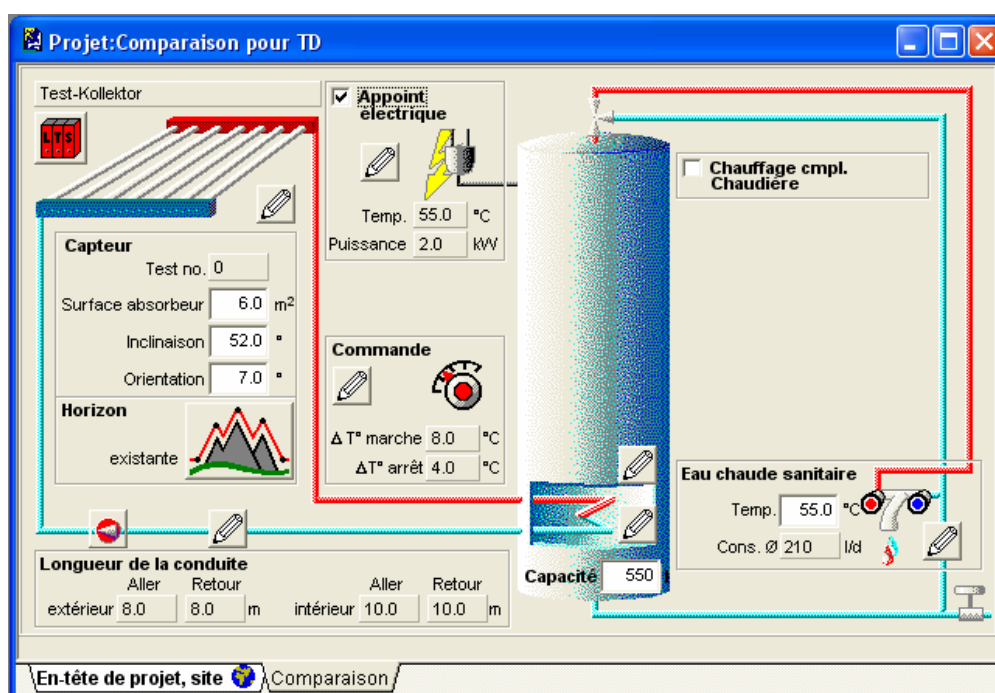
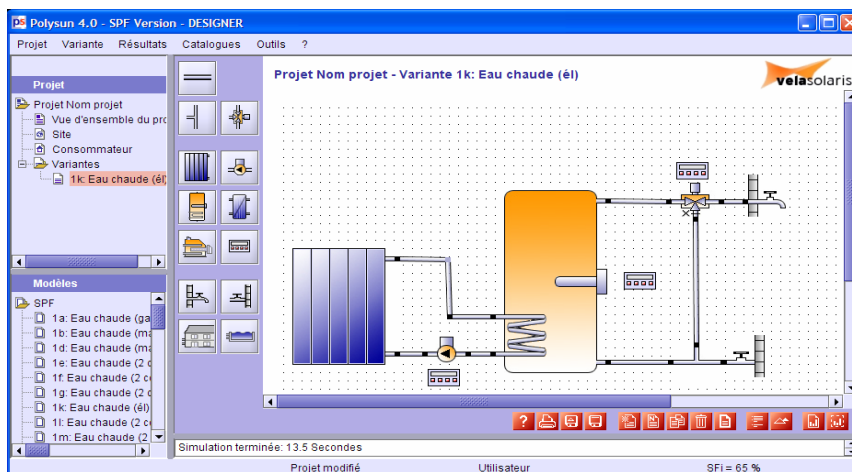


Figure 3.1.1 Fenêtre du programme *Polysun v3.3*

La version 4 Designer de Polysun a permis de récupérer d'autres profils de consommation, ainsi que des paramètres types pour des installations solaires, comme le volume du ballon ou encore le choix entre différentes sortes de capteurs. En effet, le catalogue inclus au programme présente un très large éventail de modèles différents, que ce soit capteurs, ballons, vannes ou encore conduites avec les données techniques nécessaires.

Figure 3.1.2 Programme *Polysun v4*

No. SPF	Nom	Fabricant	Prix (CHF)	Type de capteur	Date du test
03	VakuLine	GREENoneTEC Solarind...	0	Capteur à tubes	2007
01	VK25	GREENoneTEC Solarind...	0	Capteur à tubes	2007
3	KS-1800-58/20CCF	Klimeko	4174.47	Capteur à tubes	2007
3	EasySun	ParadiGma s.r.l.	0	Capteur plan	2007
2	KS 1800/58-18 CCF	Klimeko	4174.47	Capteur à tubes	2007
6	SG 1800/18	Ulrich Sp. z o.o.	0	Capteur à tubes	2007
7	FK H4	Ernst Schweizer AG	1355.93	Capteur plan	2007
8	CS 111-SF	Citir Solar GmbH	796.24	Capteur plan	2007
5	SPQ 600	SolarPur GmbH	1124.01	Capteur plan	2007
2	CTA18	Acurion Solar Ltd.	0	Capteur plan	2007

Figure 3.1.3 Catalogue du programme *Polysun v4*

3.2 – Meteonorm

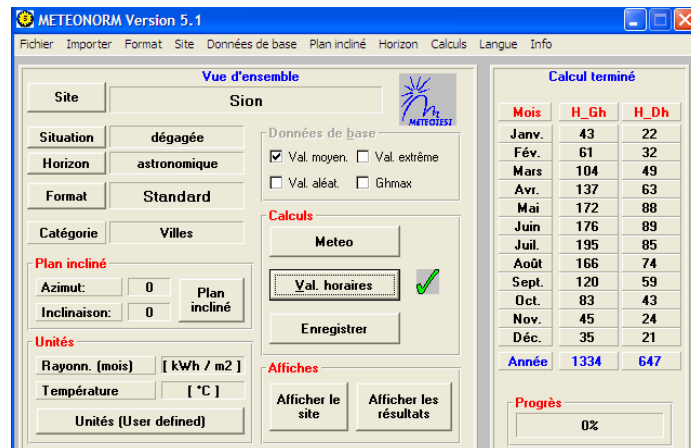
Le logiciel Meteonorm est développé par METEOTEST. Il fournit des bases de données pour la météo de différentes villes répertoriées en Europe ou sur d'autres continents. Les données météo générées par le programme sont ensuite lues dans le logiciel ECS.

Meteonorm permet aussi de calculer le rayonnement global sur un plan incliné tout au long de l'année. Cela a permis de comparer les valeurs obtenues avec le modèle implémenté dans le logiciel ECS, modèle qui a été repris du programme bSol.

Les versions utilisées pour générer les fichiers météo sont la 5.1 et la 3.0.

Mois	H_Gh	H_Dh	H_Bn
Janv.	43	24	61
Fév.	61	33	74
Mars	104	53	107
Avr.	137	68	125
Mai	172	83	144
Juin	176	93	132
Juil.	196	84	176
Août	166	80	145
Sept.	120	63	107
Oct.	83	45	89
Nov.	45	25	60
Déc.	35	21	51
Année	1334	671	1272

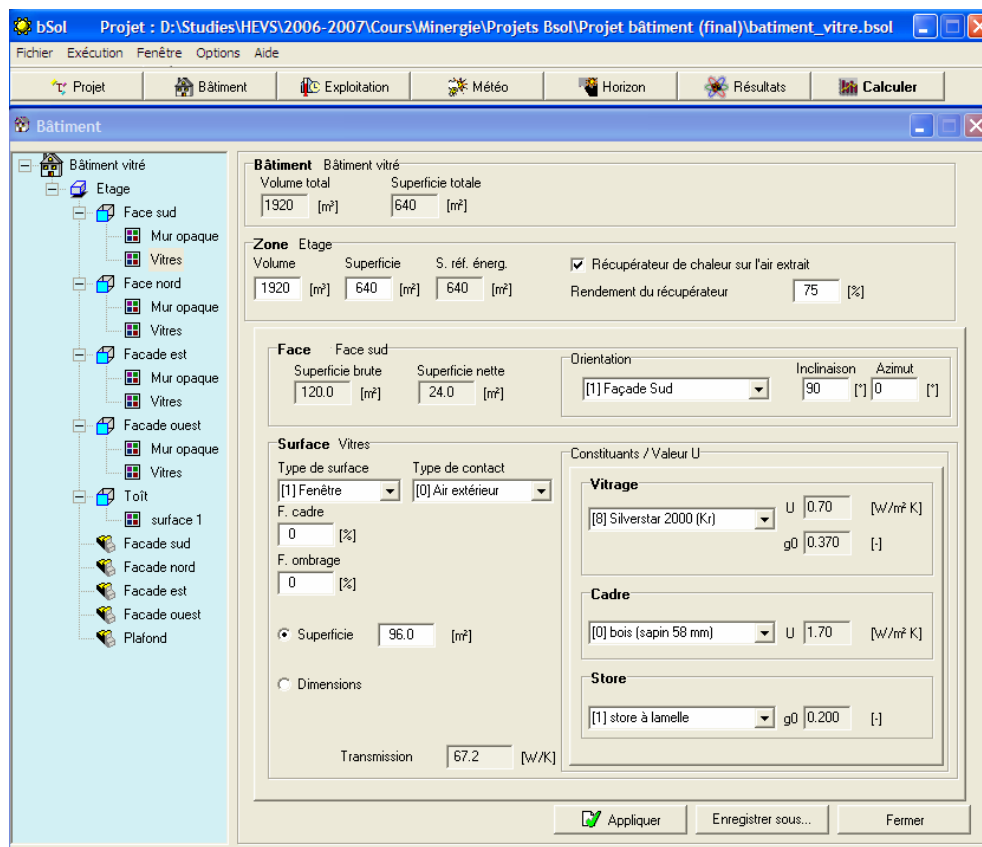
Figure 3.2.1 Programme *Meteonorm v3.0*

Figure 3.2.2 Programme *Meteonorm v5.1*

3.3 – bSol et Hortisol

Les logiciels bSol et Hortisol développés au sein de la HES-SO ont permis d'étudier une première approche concernant l'algorithme d'optimisation du système. De plus, le logiciel ECS actuel a repris un certain nombre de paramètres tirés directement de ces programmes, comme la représentation des graphiques pour afficher les résultats, l'implémentation de l'horizon ou encore la lecture des données météo.

Hortisol a été utilisé pour modifier des fichiers météo générés par le programme Meteonorm afin de pouvoir les utiliser par la suite dans le logiciel ECS.

Figure 3.3.1 Programme *bSol*

4 – Programmation du module

4.1 – Flux du logiciel ECS

L'algorithme du logiciel ECS est capable de fournir un nombre important d'informations sur chaque élément de l'installation solaire ; afin de mieux comprendre le fonctionnement du programme, une explication est nécessaire pour visualiser son évolution temporelle. La figure 4.1.1 illustre les interactions principales entre chacune des ces fonctions qui modélisent l'installation. Elles sont au nombre de cinq et déterminent

1. La puissance du capteur
2. La température à la sortie du capteur
3. Les gains du ballon (venant de l'appoint ou/et puissance du capteur)
4. Les pertes du ballon (pertes du réservoir et prélèvement d'eau chaude sanitaire)
5. La température du ballon

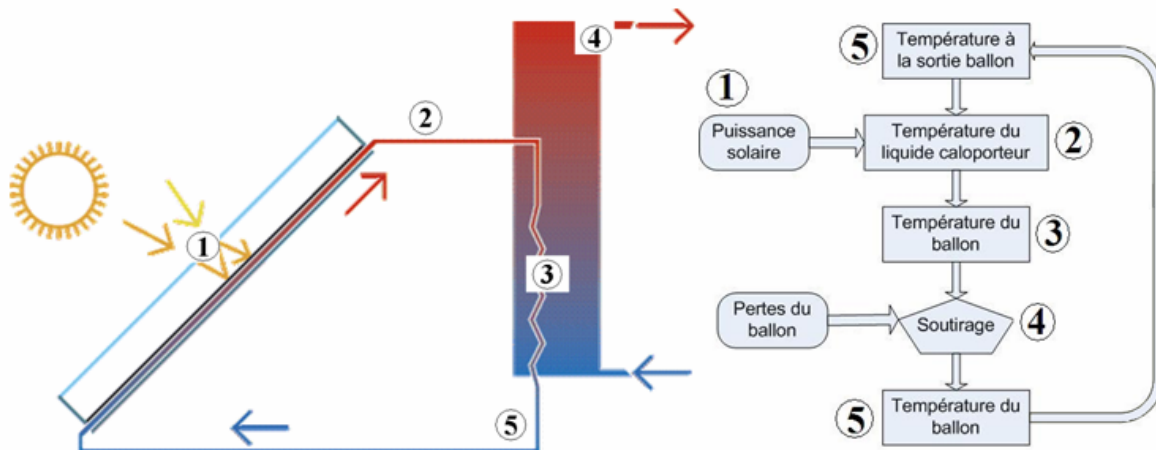


Figure 4.1.1 Flux de l'algorithme du logiciel ECS

La fonction qui établit la puissance des capteurs est capable de fournir deux valeurs, à savoir la puissance utile fournie au système et la puissance brute. De même, la fonction qui détermine les pertes du ballon additionne en réalité le prélèvement d'eau chaude sanitaire et les déperditions thermiques au niveau du réservoir.

Au final, les pertes et gains du ballon permettent de déterminer la température de l'eau au cours du temps.

4.2 – Entrées / sorties du programme

Avant d'implémenter les nouvelles fonctions directement dans le programme, il est important de définir les entrées-sorties du logiciel. Les entrées correspondent aux paramètres modifiables de la simulation et les sorties, aux résultats attendus.

4.2.1 – Définitions des entrées

Les entrées liées aux paramètres de l'installation solaire sont les suivantes

Paramètres du panneau solaire

	<u>Unités</u>	<u>Définitions</u>
U _l	[W/m ² K]	: coefficient de pertes thermiques
A _c	[m ²]	: surface
T _a	[-]	: coefficient de transmission-absorption
F'	[-]	: facteur de rendement
F''	[-]	: facteur de flux
Fr	[-]	: facteur de soutirage
Ha	[°]	: hauteur ou inclinaison
Az	[°]	: azimut

Paramètres des conduites

	<u>Unités</u>	<u>Définitions</u>
C _{eg}	[J/kgK]	: chaleur massique du liquide caloporteur
D	[kg/s]	: débit massique du circuit caloporteur
U _d	[W/m ² K]	: coefficient des pertes thermiques
A _o	[m ²]	: surface des conduites aller

Paramètres de l'appoint électrique

	<u>Unités</u>	<u>Définitions</u>
P	[W]	: puissance
h	[heure]	: heures d'allumage
Cons	[-]	: enclenchement jusqu'à la consigne supérieure ou inférieure

Paramètres du profil d'utilisation

	<u>Unités</u>	<u>Définitions</u>
Total eau	[l]	: quantité d'eau utilisée par jour
Profil ECS	[%]	: profil d'utilisation en % par heure de la journée

Paramètres du ballon

	<u>Unités</u>	<u>Définitions</u>
V	[l]	: volume du ballon de stockage
U _{ab}	[W/K]	: coefficient de pertes thermiques : $\approx 0.16 \cdot \sqrt{V}$

Paramètres de l'échangeur

	<u>Unités</u>	<u>Définitions</u>
H	[W/m ² K]	: coefficient de convection
L _{ech}	[m]	: longueur équivalente de l'échangeur

Paramètres des consignes des températures

	<u>Unités</u>	<u>Définitions</u>
T _{entree}	[°C]	: température de l'entrée d'eau
T _{a'}	[°C]	: température du local de stockage
Consigne _{Sup}	[°C]	: température de consigne supérieure
Consigne _{Inf}	[°C]	: température de consigne inférieure

Un deuxième type d'entrées du logiciel sont la météo, l'horizon et les profils d'utilisation d'eau chaude sanitaire durant la journée.

Tout comme bSol, l'utilisateur a la possibilité de définir un horizon lointain et de choisir la météo du lieu. Avec l'aide du logiciel Meteonorm, il est possible de générer un grand nombre de météos de villes et villages de Suisse pour les utiliser directement dans le logiciel ECS. L'utilisateur a aussi la possibilité de choisir un profil d'utilisation qui se rapproche le plus de ses besoins quotidiens.

4.2.2 – Définitions des sorties

Les sorties du logiciel correspondent aux résultats de la simulation représentés sous forme graphique ou sauvegardés dans un fichier « resultats.dat ».

Pour les graphiques, chaque valeur est représentée sous forme de points permettant une meilleure lisibilité; il est aussi possible de zoomer sur n'importe quelle partie permettant une vision plus détaillée.

Sur certains graphiques sont affichés les résultats de la simulation jugés importants, comme la puissance des capteurs, les températures ou encore les pertes au niveau du ballon au cours de l'année. Il est aussi possible de consulter plus en détail l'évolution horaire de chaque élément de l'installation solaire en ouvrant le fichier « resultats.dat » avec un programme comme Excel ou Bloc-notes et de l'éditer à sa guise.

4.3 – Implémentation de nouvelles fonctions

4.3.1 – Implémentation de G_K

Les rendements actuels des panneaux solaires thermiques peuvent atteindre dans certains cas les 90% ; mais plus communément, les panneaux se trouvant sur le marché offrent un rendement de 80-85%.

Afin de comprendre l'importance de l'ensoleillement pour le calcul du gain du capteur, il faut se référer à son équation caractéristique tiré du travail de diplôme de M. Lukas Petrig

$$\dot{Q}_u = A \cdot [G_K \cdot (\tau \cdot \alpha) - B \cdot (T_{in} - T_a)]$$

L'ensoleillement est caractérisé par le paramètre G_K , qui est le rayonnement solaire global sur un plan incliné, le panneau solaire. Plus ce paramètre sera élevé, plus la puissance du capteur transmise au système sera importante.

Le flux de rayonnement solaire global est la somme de trois contributions, à savoir :

- le rayonnement direct, provenant en ligne droite du soleil, B_k
- le rayonnement céleste diffus provenant de la diffusion du rayonnement solaire à travers l'atmosphère, D_{sky}
- le rayonnement diffus réfléchi, provenant de la réflexion sur le sol, $D_{reflected}$

Ainsi, l'équation du rayonnement se présente sous cette forme

$$G_K = B_K + D_{sky} + D_{reflectd}$$

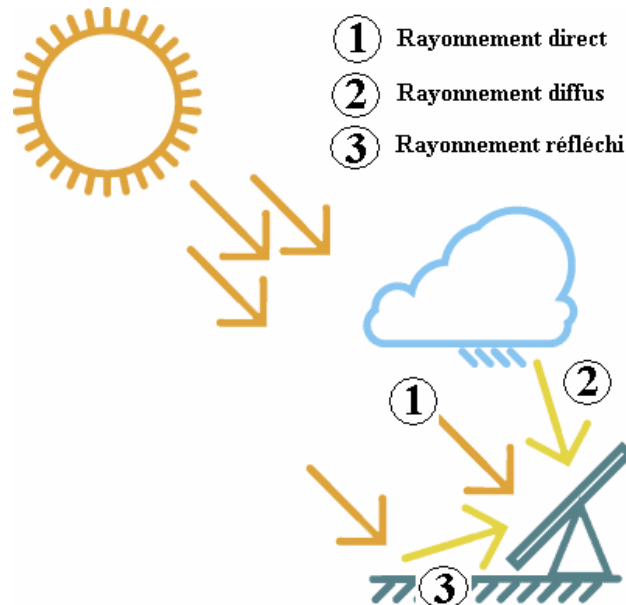


Figure 7.1.1 Types de rayonnement

Il est donc important que le capteur solaire soit orienté de manière optimale afin d'obtenir la meilleure efficacité possible. La fonction qui s'occupe de calculer la valeur G_K en fonction de l'inclinaison du capteur, de son azimut et de l'heure correspondante a été reprise du programme bSol. Il est à noter que cette fonction prend aussi en compte l'horizon de l'emplacement de l'installation, paramètre non négligeable pour l'ensoleillement reçu par le capteur.

La fonction de bSol simplifie le calcul pour G_K et sous-estime le rayonnement obtenu. Cependant, si le rayonnement calculé est inférieur à la valeur réelle, l'installation solaire va être légèrement surdimensionnée pour compenser la différence. Ainsi, le système aura une sécurité supplémentaire pour garantir la couverture des besoins. On s'attendra donc à obtenir des valeurs inférieures pour le calcul de G_K pour les tests de validation.

4.3.2 – Implémentation de l'azimut et de la hauteur pour le capteur

La version précédente du logiciel modélisait un capteur thermique posé à plat et ne prenait pas encore en compte l'azimut et l'inclinaison ou hauteur du capteur. Ces deux grandeurs nécessaires pour la simulation ont donc été implémentées dans le nouveau programme. En conséquence, deux nouveaux paramètres « azimut » et « hauteur » ont été introduits et permettent donc à l'utilisateur de modifier ces deux valeurs en fonction de son installation.

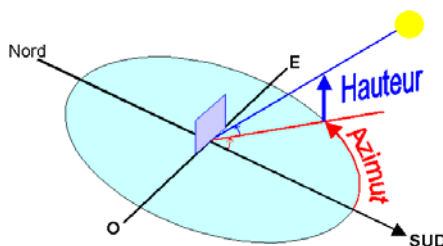


Figure 4.3.2.1 Inclinaison et azimut d'un capteur (www.outilssolaires.com)

4.3.3 – Implémentation de l'horizon et de la météo

L'horizon et la sélection de fichiers météo ont été introduits dans le logiciel ECS. Ces deux modules ont été repris du logiciel bSol et adaptés en conséquence. Il est maintenant possible de définir un horizon quelconque et de récupérer le fichier météo pour à peu près n'importe quel endroit se trouvant en Suisse.

4.3.4 – Implémentation des profils d'utilisation

Il est possible de choisir un profil d'utilisation prédéfini dans le logiciel parmi six profils différents. Ils correspondent à la consommation journalière par heure exprimés en pour cent et ont été récupérés du logiciel Polysun. Le logiciel ECS va lire un fichier « profileECS.dat » se trouvant sur le disque et charger celui correspondant au choix de l'utilisateur, heure par heure pour l'année entière.

Le fichier « profileECS.dat » se présente de la manière suivante

"Profils utilisation ECS"

h	p4	p3cst	p3pmat	p3pjou	p3psoir	pconst
0	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.0416
1	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.0416
2	0.000	0.050	0.038	0.037	0.035	0.0416
3	0.023	0.050	0.038	0.037	0.035	0.0416
4	0.023	0.050	0.038	0.037	0.035	0.0416
5	0.023	0.050	0.038	0.037	0.060	0.0416
6	0.023	0.050	0.120	0.080	0.060	0.0416
7	0.080	0.050	0.120	0.080	0.060	0.0416
8	0.080	0.050	0.038	0.037	0.035	0.0416
9	0.080	0.050	0.038	0.037	0.035	0.0416
10	0.023	0.050	0.038	0.037	0.035	0.0416
11	0.023	0.050	0.060	0.080	0.060	0.0416
12	0.080	0.050	0.060	0.080	0.060	0.0416
13	0.080	0.050	0.038	0.037	0.035	0.0416
14	0.080	0.050	0.038	0.037	0.035	0.0416
15	0.023	0.050	0.038	0.037	0.035	0.0416
16	0.023	0.050	0.060	0.080	0.120	0.0416
17	0.080	0.050	0.060	0.080	0.120	0.0416
18	0.080	0.050	0.06	0.037	0.035	0.0416
19	0.090	0.050	0.038	0.037	0.035	0.0416
20	0.024	0.050	0.038	0.037	0.035	0.0416
21	0.024	0.050	0.000	0.037	0.035	0.0416
22	0.024	0.000	0.000	0.000	0.000	0.0416
23	0.024	0.000	0.000	0.000	0.000	0.0416

Définition de chaque colonne et du type de profil d'utilisation correspondant

h	: heure de la journée
p4	: profil correspondant au logiciel Polysun v4
p3cst	: profil constant correspondant au logiciel Polysun v3
p3pmat	: profil avec un pic d'utilisation le matin correspondant au logiciel Polysun v3
p3pjou	: profil avec un pic d'utilisation la journée correspondant au logiciel Polysun v3
p3psoir	: profil avec un pic d'utilisation le soir correspondant au logiciel Polysun v3
pconst	: profil constant durant la journée

A titre d'exemple, afin d'illustrer de manière plus concrète ces différents profils, soit une consommation de 200 litres par jour correspondant à une famille standard avec une utilisation plus importante le matin; le profil correspondant à cette situation est « p3pmat » et les quantités d'eau consommées en litres durant chaque heure de la journée sont les suivantes:

Utilisation de minuit à 11 heures

heures	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
p3pmat [%]	0	0	3.8	3.8	3.8	3.8	12	12	3.8	3.8	3.8	6
Conso [l]	0	0	7.6	7.6	7.6	7.6	24	24	7.6	7.6	7.6	12

Utilisation de midi à 23 heures

heures	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23
p3pmat [%]	6	3.8	3.8	3.8	6	6	6	3.8	3.8	0	0	0
Conso [l]	12	7.6	7.6	7.6	12	12	12	7.6	7.6	0	0	0

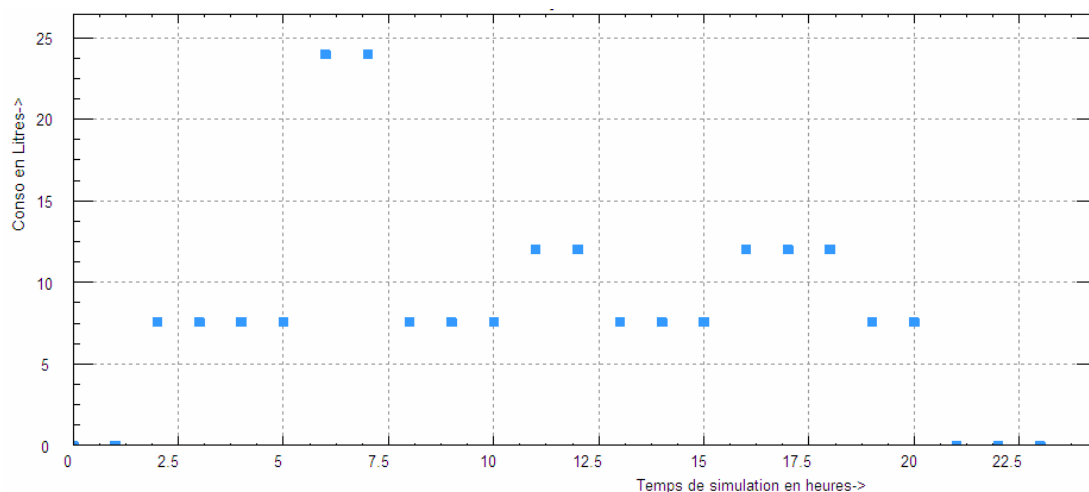


Figure 4.3.4.1 Consommation journalière correspondant au profil de Polysun avec pic d'utilisation le matin

4.3.6 – Nouvel algorithme pour l'utilisation de l'appoint

Afin de modéliser le mieux possible l'utilisation de l'appoint électrique pour l'installation solaire, un nouvel algorithme a été développé. L'équation qui détermine le gain du ballon tirée du travail de diplôme de M. Lukas Petrig est la suivante

$$\dot{q}_{ballon,in} = A \cdot [G_T \cdot (\tau \cdot \alpha) - B \cdot (T_{in} - T_{\alpha})]$$

Le chauffage d'appoint doit être enclenché si la température du ballon est plus petite que la consigne de température inférieure fixée par l'utilisateur et si l'appoint est en fonction pour l'heure correspondante. Une fois ces deux conditions vérifiées et remplies, le programme va calculer la puissance nécessaire afin de chauffer l'eau jusqu'à la consigne de température fixée par l'utilisateur.

Les algorithmes suivant sont utilisés

- écart de température à combler

$$\Delta T = \text{Consigne}_{\text{Appoint}} - T_{\text{ballon}}$$

- puissance nécessaire pour chauffer l'eau d'une température de ΔT en fonction du gain de ballon calculé précédemment et de son volume

$$P_{\text{nécessaire}} = \rho \cdot V_{\text{ballon}} \cdot c_{\text{eau}} \cdot \Delta T - \dot{q}_{\text{ballon,in}} \cdot 3600$$

Trois cas vont alors être analysés



Cas :

1 - $P_{\text{nécessaire}} \leq 0$

Signification

Le gain du ballon seul est capable d'apporter la puissance nécessaire pour couvrir l'écart de température. La fonction va retourner comme valeur le gain du ballon.

2 - $0 < P_{\text{nécessaire}} < P_{\text{appoint}}$

La puissance nécessaire théorique pour couvrir l'écart de température est inférieure à la puissance d'appoint du système ; la valeur retournée est la puissance nécessaire calculée additionnée au gain du ballon

3 - $P_{\text{nécessaire}} \geq P_{\text{appoint}}$

La puissance nécessaire théorique pour couvrir l'écart de température est supérieure à la puissance d'appoint du système ; dans ce cas, la valeur retournée est le gain du ballon avec la puissance maximum d'appoint.

Si, dans un premier temps, l'appoint n'a pas été enclenché ou que la température du ballon est plus grande que la consigne de température inférieure, alors seul le gain du ballon est retourné.

Le nouvel algorithme pour l'utilisation de l'appoint calcule la puissance nécessaire à injecter afin de garder le ballon à la consigne de température désirée, seulement si l'utilisateur a préalablement choisi de l'enclencher. Concrètement, l'utilisateur pourrait choisir de n'allumer l'appoint que la nuit et de laisser les capteurs solaires travailler seuls durant la journée. De cette manière, l'appoint ne serait pas continuellement sollicité, mais ne travaillerait qu'aux heures voulues.

Cependant, dans la réalité, l'appoint ne va pas chauffer la totalité du volume du ballon, mais seulement une partie du réservoir située au niveau supérieur; l'avantage de ce système est que la

puissance consommée par l'appoint sera moins importante tout en garantissant une température suffisante pour un volume prêt à être consommé à tout moment.

5. – Couverture du système

La couverture du système est un terme utilisé pour indiquer si l'installation solaire dimensionnée par l'utilisateur est capable de couvrir tous ses besoins durant la période simulée. La valeur retournée par le programme est exprimée en pour cent. Dans le cadre de ce travail, trois types de couverture ont été implémentées, à savoir :

- couverture des besoins en température
- couverture des besoins système
- couverture du prélèvement d'eau chaude sanitaire
- couverture SF_i

Pour définir le terme «prélèvement d'eau chaude sanitaire», on parle de prise de prélèvement, des éléments qui sont capables de fournir de l'eau chaude lors de l'ouverture d'un robinet, comme les douches, les lavabos ou les baignoires.

5.1 – Couverture des besoins en température

La couverture de la température implémentée dans le programme permet à l'utilisateur de connaître la proportion de temps durant l'année où la température de l'eau du ballon est supérieure ou égale à la consigne inférieure préalablement fixée.

Pour chaque heure de l'année, le programme va vérifier la température et incrémenter un compteur si cette dernière est supérieure à la consigne désirée. Au final, l'algorithme calcule le rapport sur les 8760 heures de l'année et retourne une valeur en pour cent.

Si le résultat est inférieur à 100%, l'installation n'est pas capable d'assurer une température minimale imposée durant chaque heure. Cependant, il se peut que durant la nuit, la température devienne plus basse ; or, durant ces heures, l'utilisateur n'a en principe pas de besoins spécifiques en eau chaude.

En conséquence, un deuxième modèle a été implémenté afin de connaître la proportion de temps utile durant l'année où la température est supérieure ou égale à la consigne inférieure. La proportion de temps utile a été définie durant les heures de la journée où l'utilisateur est susceptible d'avoir des besoins en eau chaude ; pour l'algorithme en question, les besoins ont été fixés de 6 heures le matin à 22 heures le soir.

En dernier lieu, la question du « confort » pour l'eau chaude sanitaire peut se poser ; en effet, si la température de l'eau est de 3-4° inférieure à la consigne voulue, est-ce acceptable pour l'utilisateur ? En conséquence, un dernier algorithme a été implémenté au programme à titre d'information. Il va calculer la proportion de temps durant l'année où la température du ballon est inférieure à la consigne voulue avec un écart de 3°.

5.2 – Couverture des besoins du système

Afin de savoir si les besoins de l'installation solaire sont totalement couverts, on définit la couverture du système qui représente la différence entre les besoins thermiques théoriques exigés et les besoins thermiques réels de l'installation.

Les besoins thermiques théoriques exigés comprennent le prélèvement d'eau chaude sanitaire, les pertes du réservoir ainsi que les besoins en chauffage à la température de consigne inférieure fixée par l'utilisateur

$$q_{out,théorique}(t + \Delta t) = m_{ecs} \cdot c_{eau} \cdot [T_{consigne_inférieure} - T_{entrée}](t) + Pertes_{réservoir}$$

Le terme $T_{entrée}$ correspond à la température de l'eau qui entre dans le ballon pour le remplir en cas de prélèvement d'eau de la part de l'utilisateur.

Les besoins thermiques réels sont le prélèvement d'eau chaude sanitaire, les pertes du réservoir ainsi que les besoins en chauffage pour la température réelle du ballon

$$q_{out,réelle}(t + \Delta t) = m_{ecs} \cdot c_{eau} \cdot [T_{ballon} - T_{entrée}](t) + Pertes_{réservoir}$$

Ainsi, la couverture des besoins du système exprimée en pour cent peut être calculée en fonction des besoins réels et théoriques

$$Couverture_{système} = 100 \cdot \frac{q_{out,réelle}(t)}{q_{out,théorique}(t)}$$

Si la couverture est inférieure à 100%, le système n'est pas capable d'assurer une température du ballon suffisante durant la durée de simulation. Les causes directes peuvent être une mauvaise utilisation de l'appoint, une orientation des capteurs non optimale ou encore une surface des capteurs insuffisante.

Une autre cause peut être directement liée au consommateur ; en effet, une consommation d'eau excessive durant la journée représente en conséquence un plus grand volume d'eau à chauffer. En cas de sous-dimensionnement, le système ne sera pas capable de chauffer correctement le volume prélevé.

5.3 – Couverture du prélèvement d'eau chaude sanitaire

Le logiciel Polysun définit la couverture du prélèvement d'eau chaude sanitaire comme étant « la différence entre les besoins énergétiques en eau chaude sanitaire + chauffage et le prélèvement en eau chaude sanitaire + chauffage ». Les pertes du réservoir ne sont pas prises en compte dans ce cas de figure.

Les besoins énergétiques en eau chaude et le chauffage sont déterminés avec une température correspondant à la consigne inférieure

$$q_{out,théorique}(t + \Delta t) = m_{ecs} \cdot c_{eau} \cdot [T_{consigne_inférieure} - T_{entrée}](t)$$

De même, le prélèvement en eau chaude sanitaire et le chauffage sont calculés avec une température correspondant à la température réelle du ballon

$$q_{out, réelle}(t + \Delta t) = m_{ecs} \cdot c_{eau} \cdot [T_{ballon} - T_{entrée}](t)$$

Au final, comme dans le point précédent, il est possible de déterminer la couverture d'eau chaude sanitaire en pour cent

$$Couverture_{Système} = 100 \cdot \left[1 - \frac{q_{out, théorique}(t + \Delta t) - q_{out, réelle}(t + \Delta t)}{q_{out, théorique}(t + \Delta t)} \right]$$

5.4 – Couverture SF_i

Le taux de couverture solaire SF_i est le rapport entre l'énergie solaire apportée par les capteurs au réservoir et les besoins du système complet calculés au point 5.1. Il s'agit d'un pourcentage qui représente la part d'énergie que les capteurs solaires sont capables d'apporter sur le total des besoins thermiques de l'installation.

Selon l'Office fédéral de l'énergie, le rendement annuel par mètre carré de surface utile de capteur est le suivant

Standard d'utilisation	Implantation	
	sur le Plateau suisse	en zone alpine
Taux de couverture solaire élevé (>60%)	350 - 450 kWh/m ² a	400 - 500 kWh/m ² a
Taux de couverture solaire moyen (30-60%)	400 - 550 kWh/m ² a	500 - 600 kWh/m ² a
Préchauffage (<30%)	450 - 650 kWh/m ² a	600 - 700 kWh/m ² a

Les rendements sont environ 10 à 30 % plus élevés pour les installations à capteurs à tubes sous vide. Ainsi, une installation correctement dimensionnée devra être capable d'obtenir une couverture SF_i proche de 60% ; le système peut ainsi couvrir plus de la moitié des besoins en eau chaude sanitaire sur l'année entière.

6. – Algorithme d'optimisation appelé la boussole

6.1 – bSol et rôle de l'optimisation

Selon les concepteurs de bSol

« bSol est la boussole idéale pour bien construire avec le Soleil... En matière d'énergétique du bâtiment, bSol a la prétention d'offrir une aide utile à la décision en ce qui concerne les choix constructifs les plus importants (protection thermique, grandeur des ouvertures vitrées, choix des vitrages, aération avec/sans récupération de chaleur, inertie thermique). Le logiciel permet d'optimiser la construction en déterminant la variation des besoins énergétiques d'un bâtiment suite à une variation de l'un de ses paramètres architecturaux... En plus de déterminer, pour chacune des zones du projet décrit, les caractéristiques énergétiques (énergie et puissance), bSol détermine aussi, dans un même

calcul, ces caractéristiques pour 8 configurations différentes, chacune se distinguant de la configuration de référence par le fait qu'un paramètre constructif a été modifié. »

Concernant une installation solaire, le rôle de l'optimisation permet à l'utilisateur de maximaliser SF_i pour obtenir le meilleur rendement possible pour son installation solaire. En effet, plus cette valeur est grande, plus la puissance apportée au système pour chauffer l'eau provient des capteurs. Il s'agit alors d'optimiser les paramètres suivants en fonction de SF_i

- orientation des capteurs (hauteur + azimut)
- surface des capteurs
- volume du ballon

6.2 – Optimisation de SF_i

6.2.1 – En fonction de l'azimut et de la hauteur du capteur

Il s'agit de calculer la valeur SF_i pour différents cas de figure de l'orientation des panneaux solaires. L'utilisateur choisira le pas d'incrémentation de l'orientation et de l'azimut en degré et le programme va effectuer une simulation pour chaque cas de figure. La hauteur du capteur va varier de 0° à 100° et l'azimut de -60° à 60° .

Si le pas choisi pour l'incrémentation est de 2° , 50 variations de la hauteur et 60 de l'azimut seront prises en compte; le programme va ainsi effectuer 3000 simulations et comparer le résultat de SF_i pour chaque cas de figure avec la valeur précédemment obtenue. Pour la valeur maximale trouvée, le programme va retourner la hauteur ainsi que l'azimut correspondants.

Il sera alors possible de connaître les valeurs optimales pour l'orientation du capteur afin d'obtenir le maximum de couverture solaire en fonction des paramètres de l'installation. Le programme indiquera aussi en parallèle la couverture du système.

Si, pour les valeurs optimales trouvées, la valeur de SF_i paraît insuffisante, il est nécessaire de modifier certains paramètres de l'installation, comme le volume du ballon, la surface des capteurs ou les heures d'allumage de l'appoint électrique.

6.2.2 – En fonction de la surface du capteur

On obtient logiquement une couverture solaire maximale SF_i pour une surface du capteur très grande. Cependant, cette valeur devra rester dans les limites du raisonnable. En effet, il paraît illogique de gagner quelques pour cent de couverture supplémentaire en augmentant la surface des capteurs de plusieurs mètres carrés pour des raisons financières et de construction.

Le modèle d'optimisation propose donc à l'utilisateur d'étudier l'évolution de SF_i en parallèle à la couverture des besoins du système. A lui de juger si une augmentation de la surface représente un gain réel pour son installation.

La figure 6.2.2.1 illustre un exemple d'optimisation pour une installation composée d'un ballon de 800 litres avec un appoint électrique de 3kW enclenché cinq heures durant la nuit.

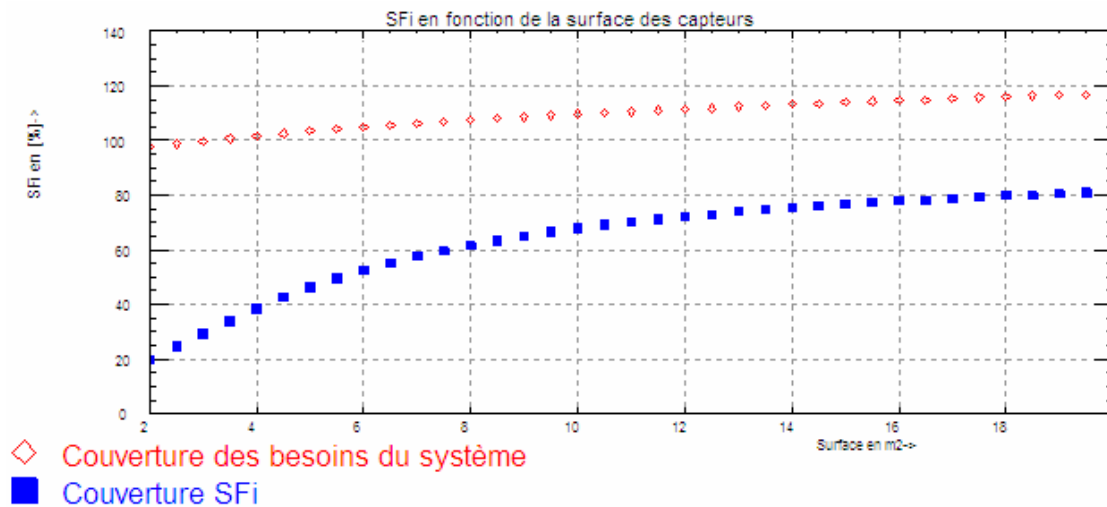


Figure 6.2.1.1 Exemple d'optimisation de SF_i en fonction de la surface des capteurs

L'axe des « y » représente les couvertures en pour cent et l'axe des « x », la surface des capteurs solaires en mètres carrés.

La couverture SF_i augmente de manière exponentielle. Avec 8 m² de surface, la couverture solaire est déjà de 60% et celle des besoins supérieure à 100%. Comme vu précédemment au point 5.4, des valeurs SF_i proches de 60% représentent des taux de couverture solaire élevés.

A partir de 10 m², si la surface du capteur est augmentée, le gain pour SF_i devient moins important. Il paraît donc raisonnable de prendre une valeur inférieure ou égale à 10 m² pour cet exemple.

6.2.3 – En fonction du volume du ballon

Le modèle d'optimisation de SF_i en fonction du volume du ballon de stockage propose aussi à l'utilisateur d'étudier l'évolution de la couverture solaire en parallèle à celle des besoins du système.

Cependant, les résultats dépendent fortement de la surface du capteur. En effet, un volume trop grand pour une surface sous-dimensionnée aura comme conséquence un emploi excessif de l'appoint électrique ; ce qui signifie que la couverture solaire baissera fortement.

En reprenant l'exemple du point 6.2.1 avec une surface optimisée des capteurs de 10 m^2 pour un volume du ballon de 800 litres et un appoint électrique de 3kW enclenché cinq heures durant la nuit, la réponse obtenue est la suivante :

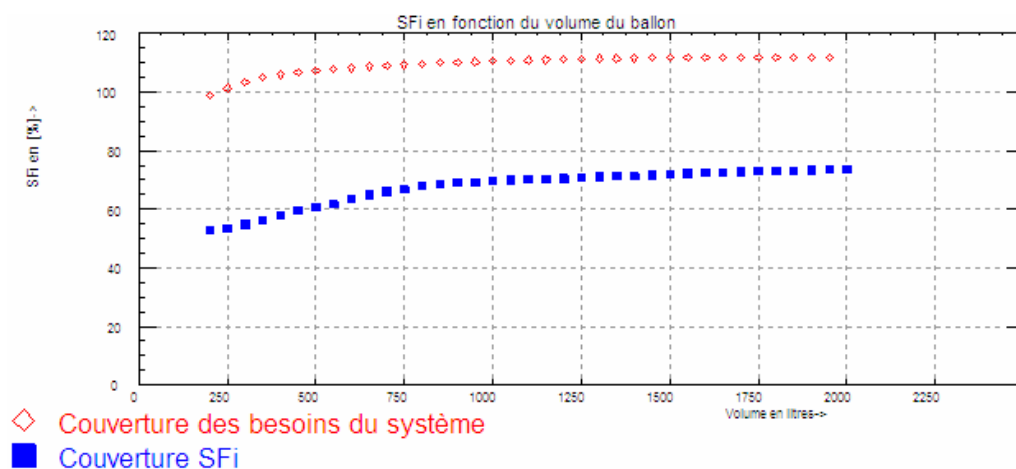


Figure 6.2.3.1 Exemple d'optimisation de SF_i en fonction du volume du ballon

La couverture solaire n'est plus de forme exponentielle; à partir de 900 litres, elle augmente moins rapidement. Pour ce cas de figure, il s'agirait de la valeur optimale pour définir le volume du ballon.

6.2.4 – En fonction du volume du ballon et de la surface des capteurs

Comme observation des deux modèles étudiés dans les points précédents, l'optimisation de la couverture solaire en fonction du volume est fortement dépendante de la surface des capteurs et inversement.

Ainsi, un dernier modèle d'optimisation de SF_i a été réalisé, dépendant à la fois du volume du ballon et de la surface du capteur. Néanmoins, l'interprétation du graphique en 3D est moins aisée que précédemment, mais donne une idée générale de l'évolution de la couverture solaire.

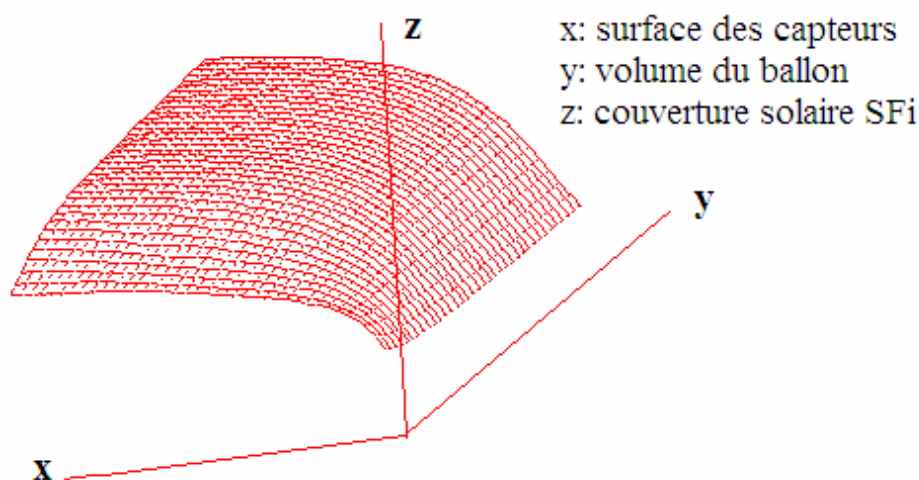


Figure 6.2.4.1 Exemple d'optimisation de SF_i en fonction du volume du ballon et de la surface du capteur

7. – Tests de validation

7.1 – Comparaison de l'ensoleillement G_K

Le protocole de test pour la comparaison de l'ensoleillement G_K s'est appuyé sur les résultats obtenus avec les programmes Meteonorm ainsi que Polysun. Le logiciel ECS va lire la météo de Sion correspondant une fois à la version de Meteonorm 97 et une fois à la version 5.1. L'orientation du panneau solaire va varier l'inclinaison de 0° à 90° ; pour chaque cas de figure, les valeurs totales annuelles de G_K vont être comparées entre les différents programmes ; les résultats obtenus sont les suivants

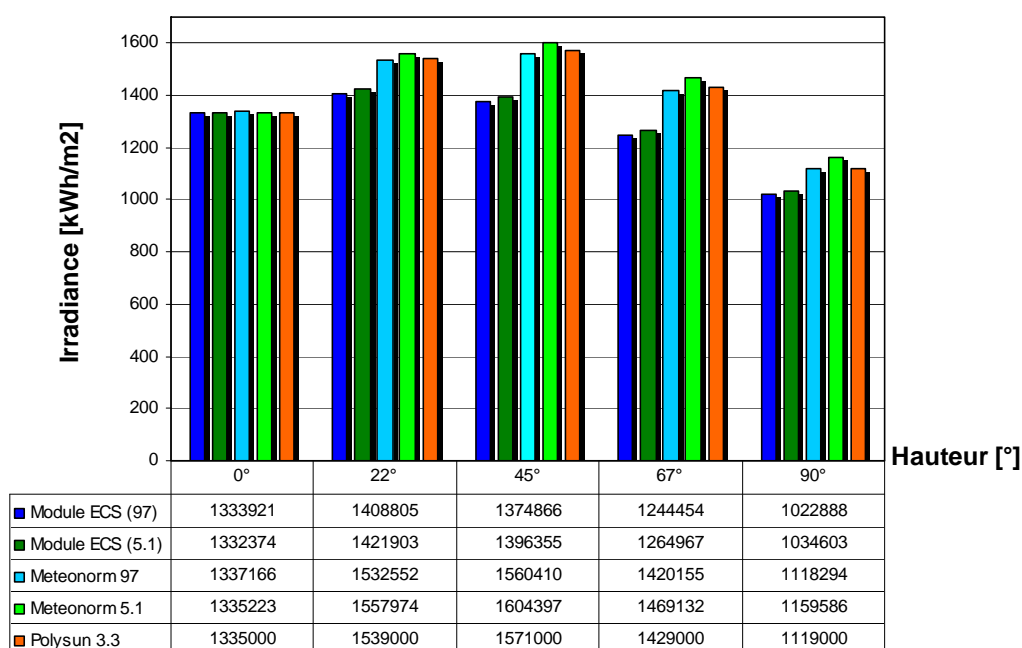


Figure 7.1.1 Irradiance totale annuelle de chaque programme

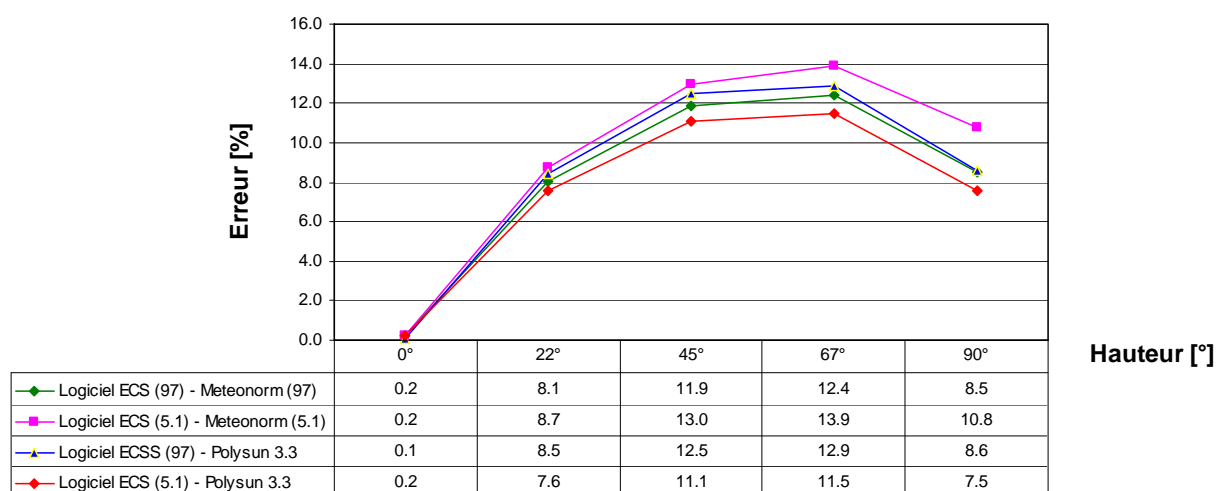


Figure 7.1.2 Erreurs obtenues entre le logiciel ECS et les différents programmes

Les résultats obtenus correspondent aux prévisions effectuées au point 4.3.1; en effet, le modèle simplifié de bSol qui calcule la valeur G_K sous-estime le rayonnement sur un plan incliné. Des erreurs sont ainsi obtenues en comparaison au logiciel Meteonorm qui sont de l'ordre de 10%. Cependant, le système va être en conséquence surdimensionné apportant une garantie supplémentaire pour la couverture des besoins.

7.2 – Comparaison des résultats avec Polysun

Afin de vérifier que les résultats du logiciel ECS soient cohérents, une série de tests ont été effectués, puis comparés avec le programme Polysun.

Les paramètres choisis de la simulation sont les suivants

- météo de Sion générée par Meteonorm v5
- longueur des conduites de 30 mètres
- pas de chauffage d'appoint => SF_i de 100%
- consigne de température à 50°
- volume du ballon de : 200, 400, 600, 800 et 1000 litres
- surface des capteurs de : 2, 4, 6, 8 et 10 m²
- orientation des capteurs de 40° sud, azimuth 0°
- profil de consommation constant durant la journée
- consommation de l'eau de : 100, 150, 200, 216, 300 et 400 litres par jour
- horizon de 0° et 20°
- aucune perte de raccordement pour le réservoir

La comparaison des résultats s'est portée sur les valeurs jugées pertinentes qui sont

- rendement solaire brut
- pertes du réservoir
- prélèvement d'eau chaude sanitaire
- besoins du système

Simulation 1 : 2 m² de capteurs, inclinaison 40° sud, réservoir de 200 litres, horizon de 0° et 20°, consommation de 100 litres par jour.

	Horizon de 0°			Horizon de 20°			Unités
	Polysun	Log. ECS	Erreur [%]	Polysun	Log. ECS	Erreur [%]	
Rendement solaire brut	1'132	1'098	3.0	1'072	1'019	4.9	[kWh]
Pertes du réservoir	276	242	12.3	266	217	18.5	[kWh]
Prélèvement ECS	852	856	-0.5	803	802	0.1	[kWh]
Besoins thermiques ECS	1'695	1'695	0.0	1'695	1'695	0.0	[kWh]

Simulation 2 : 4 m² de capteurs, inclinaison 40° sud, réservoir de 400 litres, horizon de 0° et 20°, consommation de 150 litres par jour.

	Horizon de 0°			Horizon de 20°			Unités
	Polysun	Log. ECS	Erreur [%]	Polysun	Log. ECS	Erreur [%]	
Rendement solaire brut	2'229	2'087	6.4	2'091	1'923	8.0	[kWh]
Pertes du réservoir	490	483	1.4	480	431	10.2	[kWh]
Prélèvement ECS	1'730	1'602	7.4	1'603	1'484	7.4	[kWh]
Besoins thermiques ECS	2'543	2'543	0.0	2'543	2'543	0.0	[kWh]

Simulation 3 : 6 m² de capteurs, inclinaison 40° sud, réservoir de 600 litres, horizon de 0° et 20°, consommation de 200 litres par jour.

	Horizon de 0°			Horizon de 20°			Unités
	Polysun	Log. ECS	Erreur [%]	Polysun	Log. ECS	Erreur [%]	
Rendement solaire brut	3'212	3'025	5.8	3'003	2'763	8.0	[kWh]
Pertes du réservoir	677	676	0.1	666	602	9.7	[kWh]
Prélèvement ECS	2'521	2'345	7.0	2'324	2'164	6.9	[kWh]
Besoins thermiques ECS	3'390	3'391	0.0	3'390	3'391	0.0	[kWh]

Simulation 4 : 8 m² de capteurs, inclinaison 40° sud, réservoir de 800 litres, horizon de 0° et 20°, consommation de 216 litres par jour.

	Horizon de 0°			Horizon de 20°			Unités
	Polysun	Log. ECS	Erreur [%]	Polysun	Log. ECS	Erreur [%]	
Rendement solaire brut	3'865	3'745	3.1	4'475	4'258	4.9	[kWh]
Pertes du réservoir	900	908	-0.9	761	756	0.7	[kWh]
Prélèvement ECS	2'946	2'831	3.9	3'696	3'452	6.6	[kWh]
Besoins thermiques ECS	3'662	3'661	0.0	5'086	5'086	0.0	[kWh]

Simulation 5 : 10 m² de capteurs, inclinaison 40° sud, réservoir de 1000 litres, horizon de 0° et 20°, consommation de 216 litres par jour.

	Horizon de 0°			Horizon de 20°			Unités
	Polysun	Log. ECS	Erreur [%]	Polysun	Log. ECS	Erreur [%]	
Rendement solaire brut	4294	4'287	0.2	5'704	5'377	5.7	[kWh]
Pertes du réservoir	1'136	1'155	-1.7	837	815	2.6	[kWh]
Prélèvement ECS	3'124	3'122	0.1	4'847	4'503	7.1	[kWh]
Besoins thermiques ECS	3'662	3'661	0.0	6'781	6'781	0.0	[kWh]

A titre d'information, pour un horizon de 0° et 20°, les moyennes des erreurs obtenues entre Polysun et le logiciel ECS sont les suivantes :

	Moyenne des erreurs entre Polysun et le logiciel ECS	
	Horizon de 0°	Horizon de 20°
Rendement solaire brut	3.7	6.3
Pertes du réservoir	2.6	8.3
Prélèvement ECS	3.6	5.6
Besoins thermiques ECS	0.0	0.0

Les ordres de grandeur des résultats sont satisfaisants. Les erreurs obtenues peuvent s'expliquer par un algorithme qui sous-estime l'irradiance solaire sur le capteur ; avec un horizon à 20°, ce qui signifie un ensoleillement moins important, les erreurs deviennent logiquement plus importantes.

On peut donc affirmer que l'algorithme de simulation implémenté au nouveau logiciel ECS est concluant et donne des valeurs admissibles.

8. – Résultats et discussions

La réalisation de ce projet de diplôme a permis le développement d'un logiciel capable de prédire les besoins énergétiques et leur provenance pour une installation de production d'eau chaude sanitaire à l'aide de panneaux solaires. Avec l'aide de ce programme, il sera facile de connaître les économies d'énergie qui pourraient être effectuées grâce à l'énergie solaire.

En effet, dans la conjoncture actuelle d'augmentation des prix et de problèmes environnementaux, les énergies renouvelables représentent la solution d'avenir à long terme. Non polluantes et inépuisables, leur emploi doit être rendu attrayant et le plus simple possible pour les utilisateurs potentiels. La production d'eau chaude sanitaire avec le soleil représente un moyen efficace pour diminuer la consommation des énergies électriques ou fossiles au sein d'une famille. Leur application à plus grande échelle permettrait de résoudre une partie des problèmes actuels.

Timothée Mayoraz

Hérémence, le 23 novembre 2007

9. – Bibliographie

Ouvrages de référence

- Travail de diplôme de Mr. Petrig Lukas réalisé (2006)
- Michel Bonvin, Cours de Thermodynamique (2006)
- John A. Duffie, William A. Beckman: Solar Engineering of Thermal Processes (1991)
- Latif M. Jiji: Heat Transfer Essentials: A Textbook (2006)
- Claude Delannoy: Programmer en langage C (2002)
- Claude Delannoy: Programmer en C++, 5ème édition (2004)

Documentation numérique

Informations techniques

- HCE Energie Solaire (<http://www.hce-energie.fr>)
- Institut für Solartechnik SPF à Rapperswil (<http://www.solarenergy.ch>)
- Solar Campus GmbH pour le logiciel Polysun (<http://www.solarcampus.ch>)
- Swisssolar (<http://www.swisssolar.ch>)
- Aaxis Energie (<http://www.aaxis-energie.fr>)
- Wagner & CO SolarTechnik (<http://www.wagner-solar.com>)
- Le chauffage central (<http://pagesperso-orange.fr/herve.silve>)
- Energie solaire dans l'habitat (<http://www.outilssolaires.com>)
- Pole Energies Renouvelables (<http://enr.cstb.fr>)
- Société Suisse pour l'énergie solaire SSES (<http://www.sses.ch>)
- Amperel (<http://www.amperel.fr>)
- Sol Energie (<http://www.solenergie.fr>)
- Le guide du chauffage (<http://www.leguideduchauffage.com>)
- SPF Economie (<http://mineco.fgov.be>)

Statistiques

- Conseil suisse de l'énergie (<http://www.energiestatistik.ch>)
- Statistique globale suisse de l'énergie 2005, OFEN (<http://www.admin.chbfe>)
- webEnergie (<http://webenergie.ch/>)
- Encyclopédie libre Wikipedia (<http://fr.wikipedia.org>)
- Association neuchâteloise en matière d'énergie (<http://www.animenergie.ch>)

Hygiène

- Conférence des services cantonaux de l'énergie (<http://etat.geneve.ch>)
- Aquatycia (<http://www.aquatycia.fr>)
- Réseau Régional d'Hygiène Hospitalière de Basse-Normandie (<http://www.rrhbn.org>)
- XPair (<http://www.xpair.com>)

10. – Annexe

Mode d'emploi du logiciel ECS.

Mode d'emploi du logiciel ECS

1. – Différences avec l'ancien programme	p. 2
2. – Description des différentes fenêtres du programme	p. 3
2.1 – Fenêtre principale	p. 3
2.2 – Fenêtre des paramètres de la simulation	p. 5
2.3 – Fenêtre profil d'utilisation	p. 6
2.4 – Fenêtre météo	p. 7
2.5 – Fenêtre horizon	p. 8
2.6 – Fenêtre des résultats	p. 8
2.7 – Fenêtre pour l'optimisation	p.10
3. – Sauvegarde des résultats	p.11
4. – Messages d'avertissement	p.12

1. – Différences avec l'ancien programme

Bien que les deux programmes comportent le même algorithme de simulation, de nombreux éléments ont changés au niveau de l'interface.

Le nouveau logiciel comporte une barre de menu rendant la navigation et l'utilisation plus facile. L'ensemble des paramètres de l'installation ne se trouvent plus que dans une seule fenêtre, ce qui permet à l'utilisateur d'obtenir une vue globale des valeurs de son installation solaire. La fenêtre des résultats s'est enrichie de nouveaux graphiques et affiche des valeurs clés obtenues après simulation. En dernier lieu, un menu optimisation a fait son apparition permettant à l'utilisateur d'améliorer son installation solaire en lui suggérant de modifier certains paramètres.

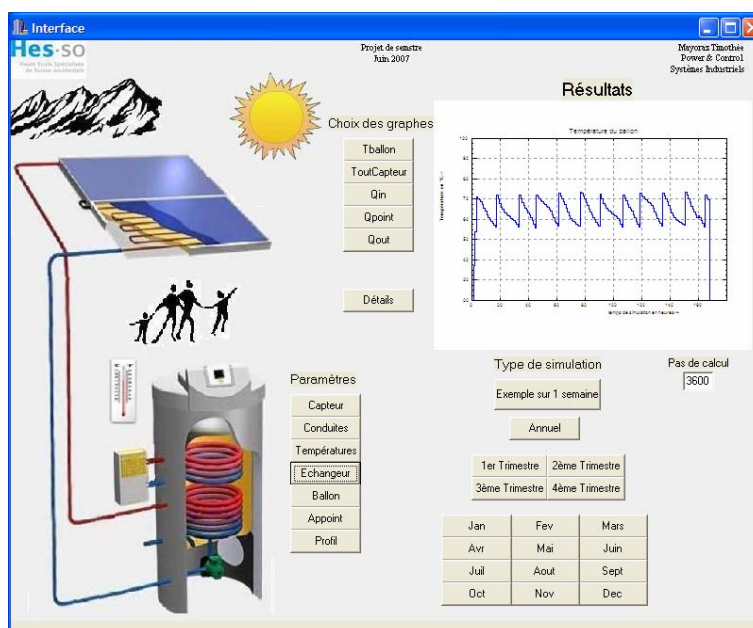


Figure 1.1 Ancienne version du logiciel ECS

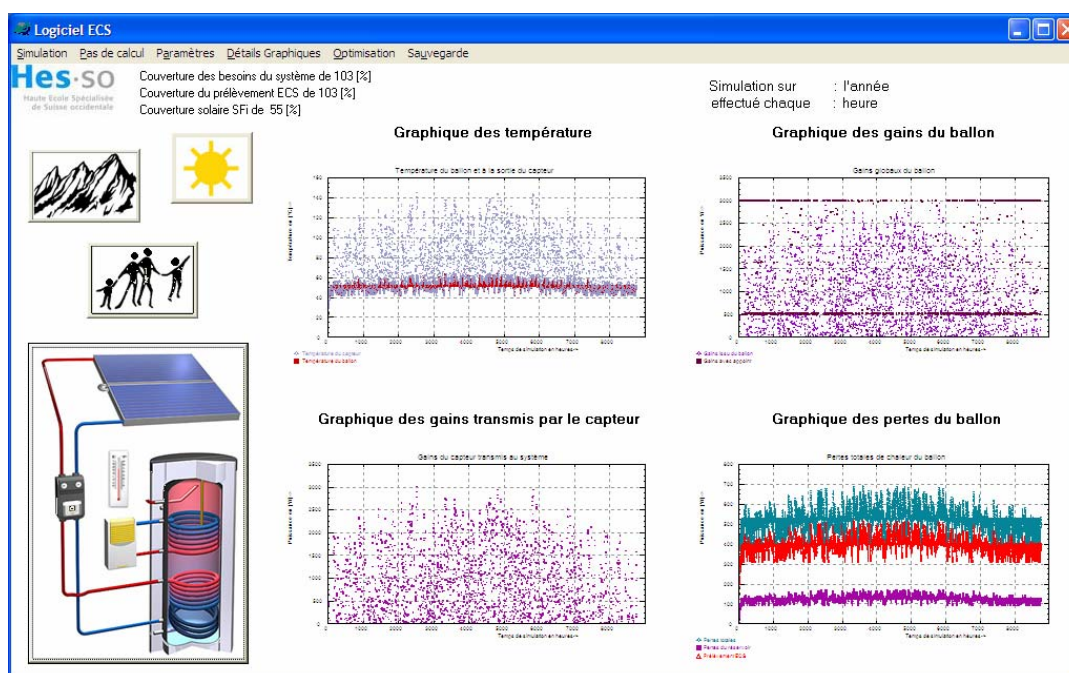


Figure 1.2 Nouvelle version du logiciel ECS

2. – Description des différentes fenêtres du programme

Afin de mieux comprendre le fonctionnement du logiciel ECS, une explication de chaque élément a été réalisée de manière à guider l'utilisateur pour sa première utilisation en décrivant les points importants du programme.

2.1 – Fenêtre principale

Une fois le logiciel lancé, la fenêtre principale se décompose en quatre parties distinctes

1. Barre de menu
2. Boutons pour afficher les paramètres de l'installation solaire
3. Affichage des graphiques
4. Affichage d'informations sur le type de simulation

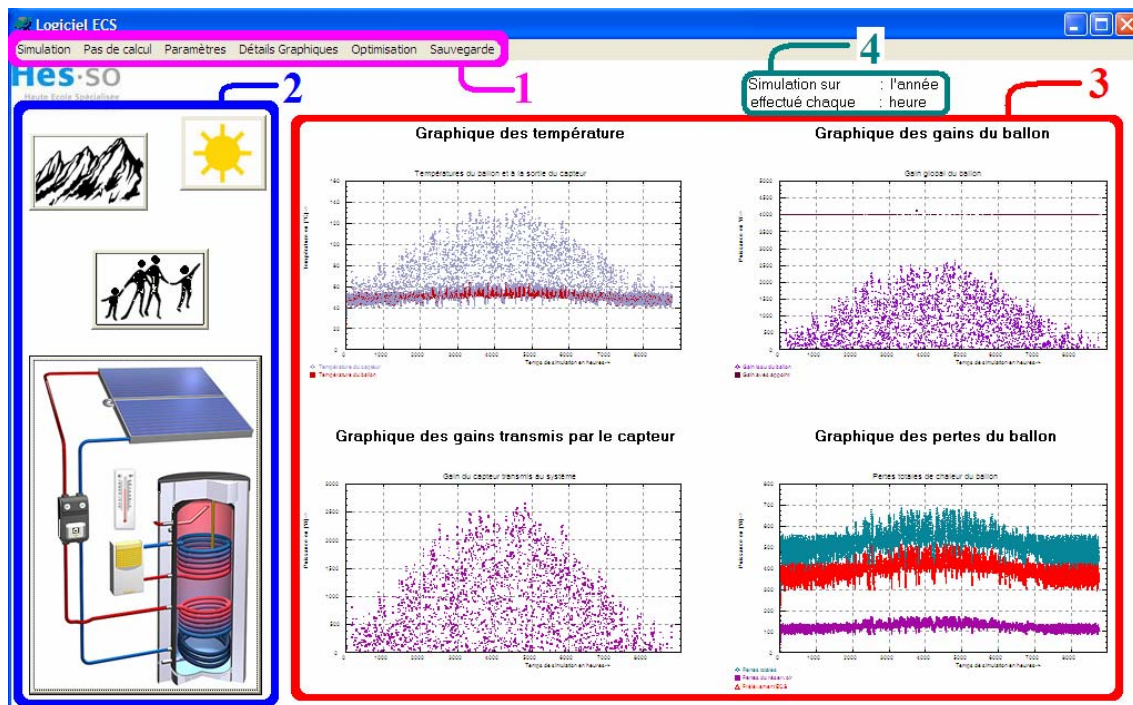


Figure 2.1.1 Fenêtre principale

Afin de pouvoir entrer les paramètres de l'installation solaire, le profil d'utilisation, la situation géographique ainsi que la météo de l'emplacement, deux manières différentes s'offrent à l'utilisateur ; il a le choix entre

- cliquer dans la barre de menu
- cliquer sur les boutons images

En sélectionnant dans le menu la fonction « paramètres », on retrouve les quatre informations à compléter pour pouvoir simuler l'installation. La correspondance aux boutons images est la suivante (2)

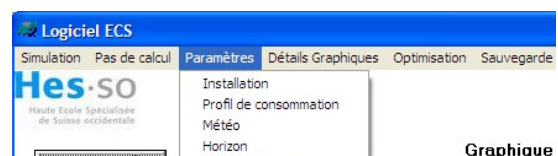


Figure 2.1.2 Menu paramètres

Paramètres de l'installation :



Profil de consommation :



Météo :



Horizon :



Pour afficher les résultats sous formes graphiques de manières plus détaillées, l'utilisateur a aussi le choix entre deux manières différentes

- cliquer sur l'un des graphiques de la fenêtre principale (3)
- cliquer dans le menu sur la fonction « Détails graphiques »

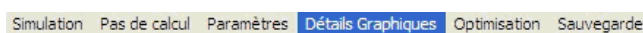


Figure 2.1.3 Détails graphiques

Pour sélectionner un type de simulation qui s'effectue chaque seconde, demi-heure ou heure, il suffit de cliquer dans le menu sur « pas de calcul »

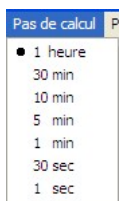


Figure 2.1.4 Type de simulation

Un point s'affiche devant le choix effectué par l'utilisateur correspondant à la précision de la simulation. Une simulation où les résultats sont calculés chaque heure sera plus rapide qu'une simulation effectuée chaque seconde ; cependant, les graphiques afficheront plus de points, ce qui donnera des graphiques plus précis sur une durée plus courte.

Au final, pour lancer une simulation, il suffit de se rendre dans la barre de menu en cliquant sur « simulation » et en choisissant la durée voulue

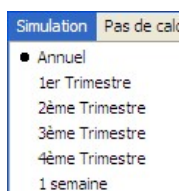


Figure 2.1.5 Durée de simulation

Afin de rappeler à l'utilisateur le choix effectué, un point vient s'afficher devant la durée qui a été sélectionnée. Une fois la simulation lancée, les résultats sous formes graphiques viennent s'afficher sur la fenêtre principale (3).

Comme options supplémentaires figurant dans le menu se trouvent une fonction « optimisation » ainsi qu'une fonction « sauvegarde »

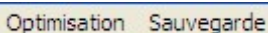


Figure 2.1.6 Menu Optimisation et Sauvegarde

2.2 – Fenêtre des paramètres de la simulation

Après avoir sélectionné la fonction « paramètres » dans le menu principal ou en cliquant sur le bouton image de la simulation, une nouvelle fenêtre vient s'ouvrir

Paramètres de l'installation solaire

Capteurs solaires (1)

Coef. de pertes therm. [W/m²K]
 Surface [m²]
 Facteur de flux [-]
 Coefficient de transmission/absorption [-]
 Facteur de rendement [-]
 Facteur de soutirage de chaleur [-]
 Hauteur [°]
 Azimut [°]
 Reset
 Default

Conduites (2)

Longueur [m]
 Diamètre [cm]
 Chaleur massique du liquide [J/kgK]
 Débit massique du liquide [kg/s]
 Coef. de pertes therm. [W/m²K]
 Default
 Reset

Ballon (3)

Coefficient pertes thermiques [W/K]
 Volume [l]
 Default
 Reset

Consignes de températures (4)

Température d'entrée de l'eau [°C]
 Température ambiante [°C]
 Consigne supérieure [°C]
 Consigne inférieure [°C]
 Default
 Reset

Echangeur (5)

Coefficient de convection [W/m²K]
 Longueur équivalente [m]
 Default
 Reset

Appoint électrique (6)

Puissance [W]
 Enclenchement jusque: [°C]
 Heures d'allumage de l'appoint:
☐ 0 ☐ 4 ☐ 8 ☐ 12 ☐ 16 ☐ 20
☐ 1 ☐ 5 ☐ 9 ☐ 13 ☐ 17 ☐ 21
☐ 2 ☐ 6 ☐ 10 ☐ 14 ☐ 18 ☐ 22
☐ 3 ☐ 7 ☐ 11 ☐ 15 ☐ 19 ☐ 23
 Tout
 Default
 Reset
 Default
 Reset
 Valider

Figure 2.2.1 Fenêtres des paramètres de la simulation

On retrouve les six éléments principaux de l'installation, à savoir les paramètres

1. Des capteurs solaires
2. Des conduites
3. Du ballon d'eau chaude
4. Des consignes de température
5. De l'échangeur
6. De l'appoint électrique

Chaque sous-catégorie comporte deux options « Reset » et « Default », de même que la fenêtre principale ; en cliquant sur « Reset », tous les champs correspondant à la sous-catégorie sélectionnée vont se remettre à zéro ; en cliquant sur « Default », des valeurs prédéfinies viennent remplir les champs correspondants.

Une information supplémentaire est nécessaire concernant les consignes de température et de l'appoint électrique dans le rôle de la simulation.

La consigne de température supérieure correspond à la température maximale du ballon d'eau chaude ; cette température ne sera jamais dépassée, même en cas d'apport du capteur supérieur à ce qui est nécessaire. La consigne de température inférieure correspond à la température minimale souhaitée par l'utilisateur pour l'utilisation.

Concernant le fonctionnement de l'appoint électrique, l'utilisateur a le choix pour les heures de fonctionnement ; il lui suffit de sélectionner les heures correspondantes souhaitées. De même, il a la possibilité de déterminer jusqu'à quelle température l'appoint fonctionnera. Pour une utilisation optimale, il est préférable de laisser chauffer l'appoint quelques degrés de plus que la consigne de température inférieure.

Une fois tous les paramètres de l'installation entrés, l'utilisateur doit cliquer sur le bouton « Valider » de la fenêtre principale. Ainsi, tous les paramètres seront enregistrés pour lancer une première simulation.

Si l'utilisateur n'a entré aucun paramètre ou s'il a cliqué sur « Reset » puis « Valider », des paramètres par défaut seront automatiquement pris en compte pour la simulation. Ils correspondent à une famille standard.

2.3 – Fenêtre profil d'utilisation

La fenêtre « Profil d'utilisation » permet à l'utilisateur de

1. Sélectionner un profil d'utilisation de l'eau
2. Déterminer la quantité d'eau utilisée par jour
3. Indiquer le nombre de personnes

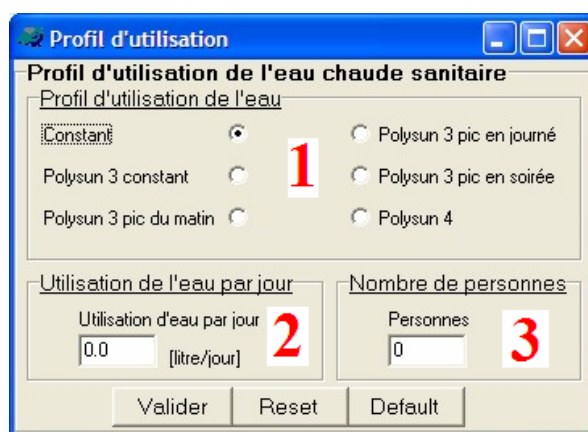


Figure 2.3.1 Fenêtres du profil d'utilisation

Pour comprendre à quoi correspondent les profils d'utilisation, il faut se référer au chapitre 4.3.4. Il n'est possible de sélectionner qu'un seul profil à la fois. L'utilisation de l'eau est déterminée en litre par jour ; on prendra comme valeur standard 50 litres/jour pour une personne.

Tout comme la fenêtre des paramètres, le bouton « Reset » remettra à zéro tous les champs, le bouton « Default » mettra des valeurs prédéterminées. L'option « Valider » enregistre les paramètres entrés. De même, des valeurs par défaut seront prises en compte si les champs sont laissés vides.

2.4 – Fenêtre météo

En sélectionnant le paramètre « Météo » du menu principal, la fenêtre suivante s'ouvre

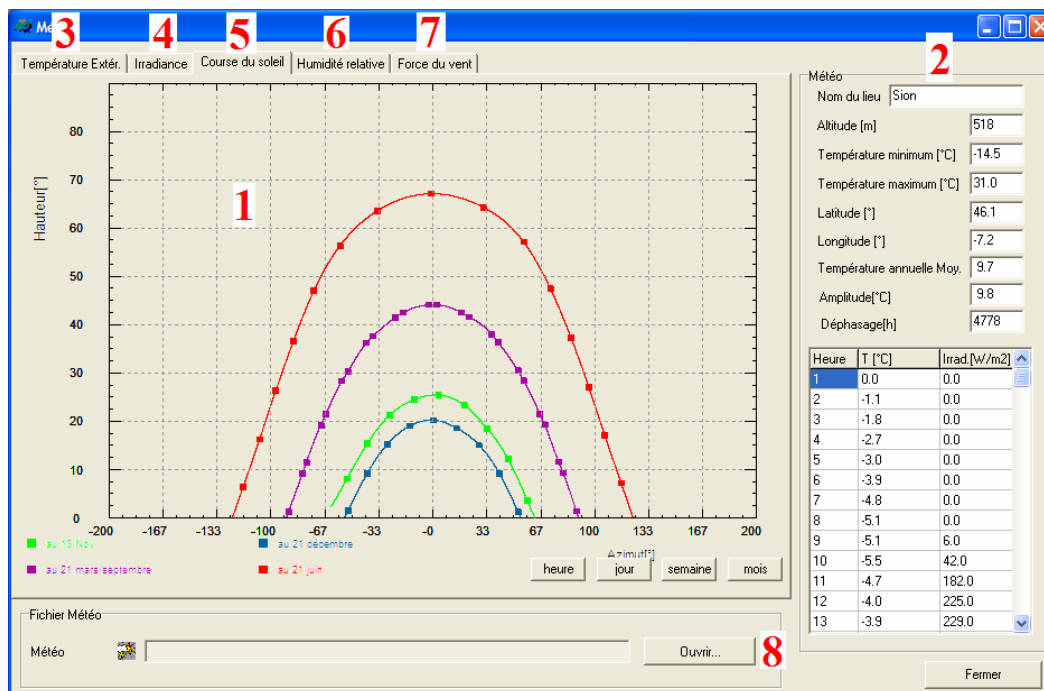


Figure 2.4.1 Fenêtres météo

La fenêtre affiche par défaut la course du soleil, avec les options suivantes

1. Horizon
2. Affichage des informations concernant le lieu de la simulation
3. Onglet pour afficher la température extérieure
4. Onglet pour afficher l'irradiance
5. Onglet pour afficher la course du soleil
6. Onglet pour afficher l'humidité relative
7. Onglet pour afficher la force du vent

Le programme charge par défaut la météo de Sion ; cependant, il est possible de sélectionner un autre lieu correspondant à une autre météo en cliquant sur « ouvrir » (8) et en sélectionnant un fichier météo dans le dossier voulu.

2.5 – Fenêtre horizon

La fenêtre horizon permet à l'utilisateur de dessiner la géographie de l'emplacement où se trouve l'installation solaire.

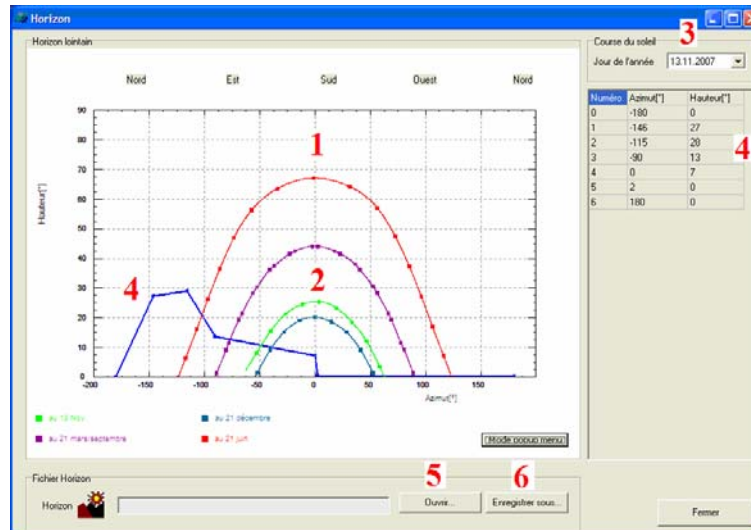


Figure 2.5.1 Fenêtres des paramètres de la simulation

Dans la fenêtre principale (1) sont dessinés en rouge, bleu et violet, les courses du soleil correspondant respectivement aux solstices d'été et d'hiver et aux équinoxes de printemps et d'automne. En vert (2), il s'agit de la course du soleil pour une date choisie par l'utilisateur dans le calendrier (3). L'horizon en bleu (4) est une succession de points dessinés par l'utilisateur ; dans la colonne de droite se trouvent les informations sur la hauteur et l'azimut des points correspondant à l'horizon dessiné dans la fenêtre. Comme avec Meteonorm, il est possible de charger un horizon prédéfini (5) ; il est aussi possible de sauvegarder la configuration actuelle (6) pour la recharger par la suite.

2.6 – Fenêtre des résultats

Après avoir sélectionné « Détails Graphiques » dans le menu ou cliqué sur l'un des quatre graphiques présents dans la fenêtre principale, il est possible d'obtenir une vue plus grande et détaillée des résultats.

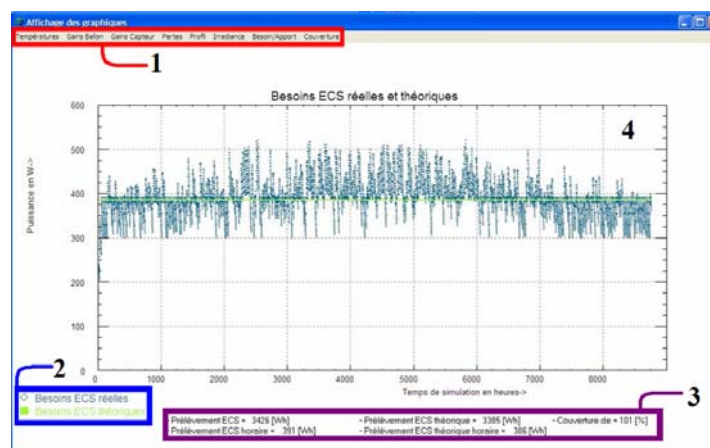


Figure 2.6.1 Menu des résultats pour l'affichage des graphiques

La nouvelle fenêtre se décompose en quatre parties

1. Menu principal pour le choix des graphiques
2. Légendes des graphiques
3. Résultats de la simulation
4. Affichage des graphiques

Dans le nouveau menu, l'utilisateur a la possibilité d'afficher différents résultats de la simulation, à savoir

- Menu des températures
 - températures du ballon et du capteur
 - température du ballon seul
 - températures du capteur seul
 - différence de température entre le ballon et le capteur
 - augmentation de la température du ballon grâce au capteur
- Menu des gains du ballon
 - gain global
 - gains totaux
 - gain du réservoir
 - gain de l'appoint
- Menu des gains du capteur
 - gains transmis au système
 - gains bruts
- Menu des pertes : pertes totales, pertes du réservoir et prélèvement d'eau chaude sanitaire
- Menu profil
 - profil d'utilisation sur l'année
 - profil d'utilisation journalière
 - consommation annuelle
 - consommation journalière
- Menu irradiance : irradiance reçue sur le capteur
- Menu des besoins/apports journaliers : (besoins réels, besoins théoriques, apport du capteur, apport de l'appoint)
 - horaires
 - journaliers
 - mensuels
- Menu couverture
 - couverture des besoins de l'installation
 - couverture ECS

Il est aussi possible d'effectuer un zoom sur une partie précise du graphique pour afficher plus en détail les résultats sur une période plus courte définie par l'utilisateur.

2.7 – Fenêtre pour l'optimisation

La fenêtre pour l'optimisation de SF_i permet de

1. Lancer l'optimisation en fonction de l'azimut, la hauteur, la surface du capteur ou le volume du ballon
2. Choisir le pas d'incrémentation pour l'azimut et la hauteur
3. Afficher les résultats obtenus sous forme graphique
4. Afficher les valeurs optimales sous forme de texte
5. Afficher la barre d'avancement pour indiquer l'état de l'optimisation

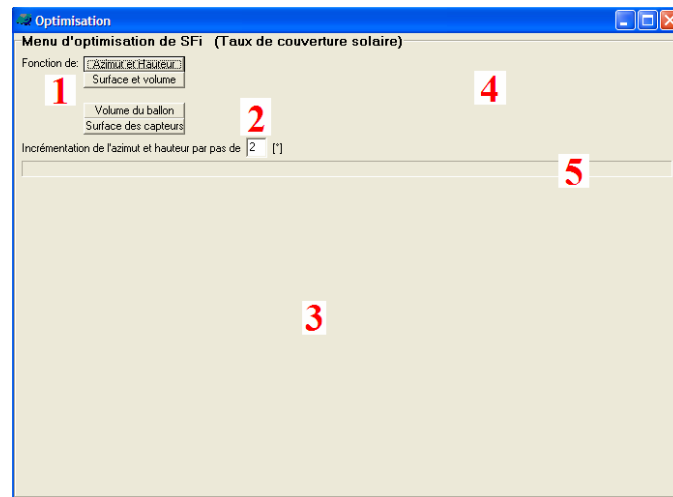


Figure 2.7.1 Fenêtres des paramètres de la simulation

Par exemple, si l'on a choisi d'optimiser l'azimut et la hauteur du capteur solaire en prenant 4° comme pas d'incrément, le programme va afficher les résultats des simulations sous forme graphique en 3D (3) ainsi que les valeurs optimales (1). A noter que de nouvelles fonctions viennent s'afficher sur le graphique (3 et 4).

En effet, le graphique peut pivoter grâce aux boutons de direction. Le bouton « save » permet de sauver tous les points (4). De même, le programme propose de calculer à nouveau la valeur SF_i avec l'azimut ou la hauteur optimisée trouvée, et de regarder ce qu'il se passe en faisant varier l'autre paramètre

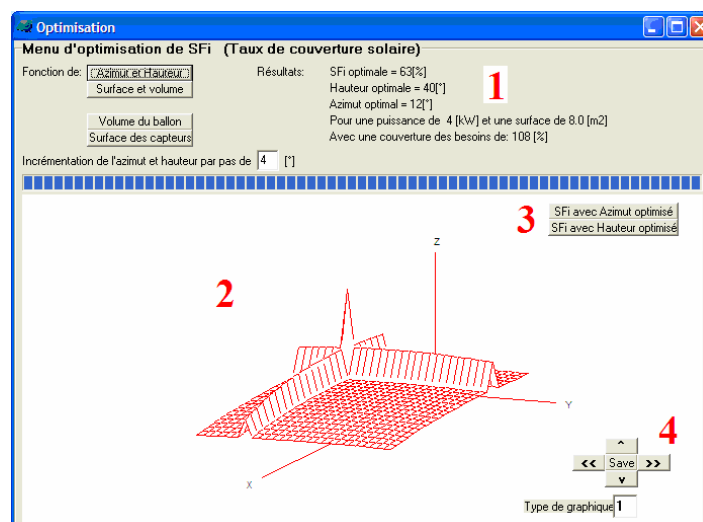


Figure 2.7.2 Fenêtres des paramètres de la simulation

Si l'utilisateur a choisi de regarder l'évolution de SF_i avec l'azimut optimisé, l'algorithme va faire varier la hauteur de 0° à 100° et calculer, pour chaque cas, les valeurs SF_i . Il obtiendra alors un nouveau graphique avec deux nouvelles courbes : la couverture SF_i (1) et la couverture des besoins thermique (2).

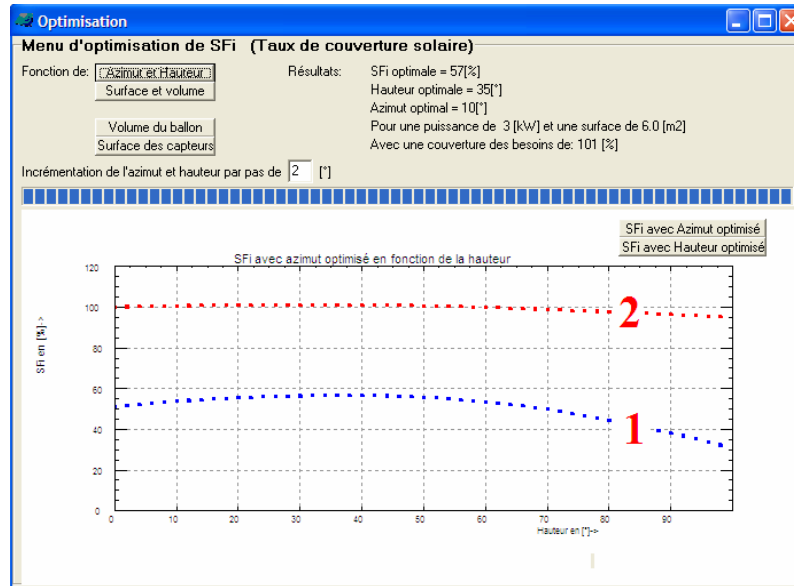


Figure 2.7.3 Fenêtres des paramètres de la simulation

3. – Sauvegarde des résultats

Le programme permet la sauvegarde des résultats importants de la simulation heure après heure durant l'année.

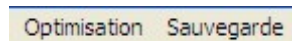


Figure 3.1 Menu Sauvegarde

Les valeurs sont enregistrées dans un fichier se nommant « Resultats.dat » qui se trouve dans le répertoire où le programme est installé. Il est possible d'ouvrir ce fichier avec un programme tel qu'Excel ou Bloc-notes et de copier les valeurs désirées.

S'y trouvent comme résultats importants

- puissance du capteur
- gain du ballon
- besoins thermiques du ballon
- puissance d'appoint
- température du capteur
- température du ballon

4. – Messages d'avertissement

Afin de guider l'utilisateur tout au long de l'utilisation du logiciel, des messages d'information viennent s'afficher dans différents cas de figure.

Si, dès l'ouverture du programme, une simulation est lancée, un message apparaît pour prévenir qu'aucun paramètre n'a encore été entré et de ce fait, aucune simulation n'est encore possible.

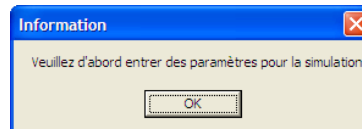


Figure 4.1 Information pour 1^{ère} simulation

De même, si l'utilisateur clique sur le menu « Optimisation » sans avoir entré aucun paramètre, un message viendra s'afficher

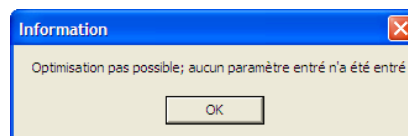


Figure 4.2 Information pour 1^{ère} optimisation

En cas de sauvegarde des résultats de la simulation, un message vient informer du bon déroulement de l'opération ainsi que donner le nom et l'emplacement du fichier en question.



Figure 4.3 Information pour la sauvegarde